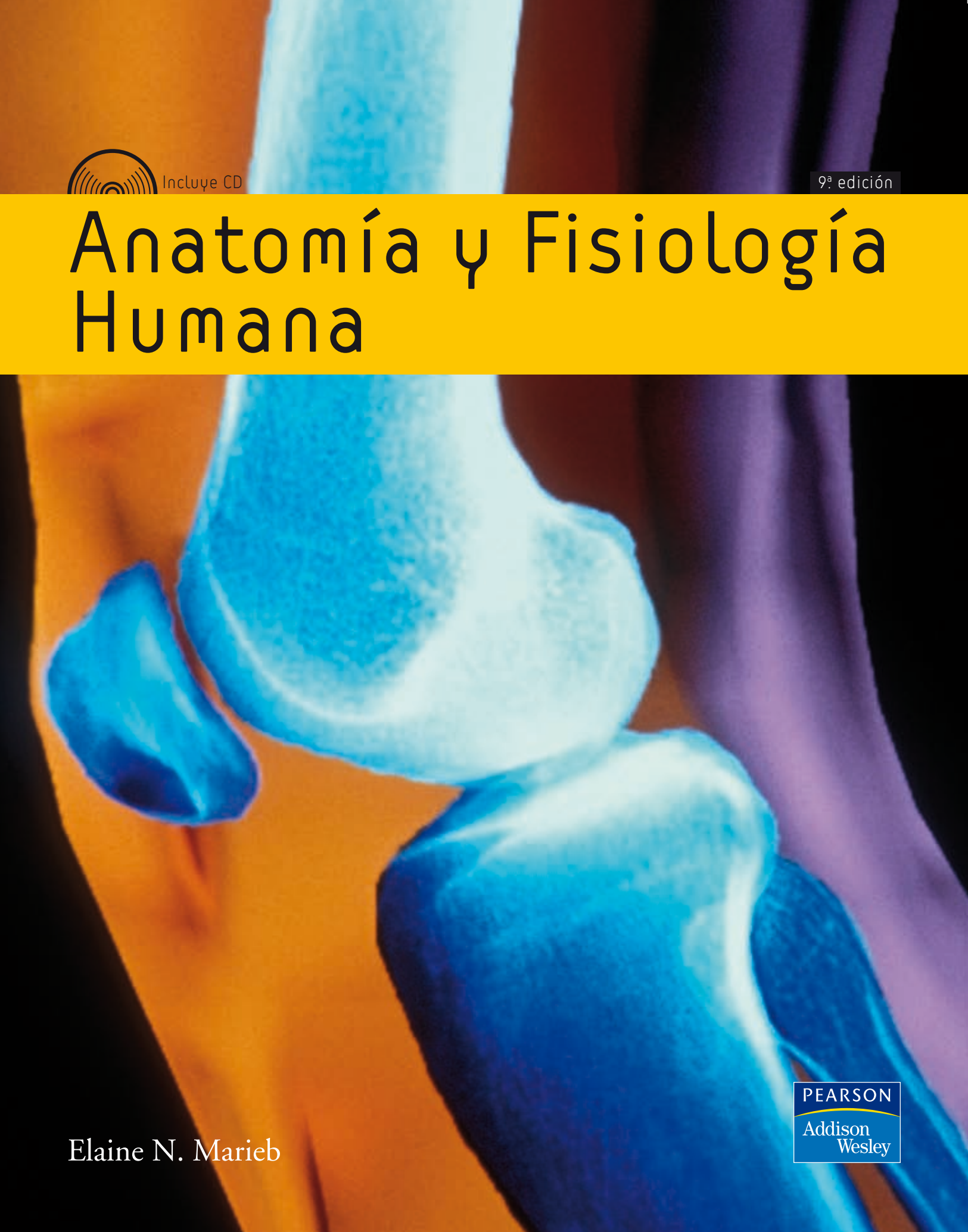

Incluye CD
9ª edición
Anatomía y Fisiología Humana
Elaine N. Marieb
PEARSON
Addison Wesley

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA

ELAINE N. MARIEB, R.N., Ph.D.,
Holyoke Community College

NOVENA EDICIÓN

PEARSON Addison Wesley

San Francisco Boston New York
Cape Town Hong Kong London Madrid Mexico City
Montreal Munich Paris Singapore Sydney Tokyo Toronto

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA
Elaine N. Marieb

PEARSON EDUCACIÓN, S. A. 2008
ISBN: 9788478290949
Materia: Anatomía, 611

Formato: 21,5 x 27 Páginas: 655

Todos los derechos reservados.
Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra sin contar con autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual *(arts. 270 y sgts. Código Penal)*.

DERECHOS RESERVADOS
© 2008, PEARSON EDUCACIÓN S.A.
Ribera del Loira, 28
28042 Madrid (España)

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA HUMANA
Elaine N. Marieb

ISBN: 9788478290949
Depósito Legal:

Authorized translation from the English language edition, entitled ESSENTIALS OF HUMAN ANATOMY & PHYSILOGY, 9th Edition by ELAINE N. MARIEB, published by Pearson Education, Inc, publishing as Benjamin Cummings, Copyright © 2009

Equipo editorial:
Editor: Miguel Martín-Romo
Técnico editorial: Marta Caicoya
Equipo de producción:
Director: José A. Clares
Técnico: Diego Marín
Traducción y maquetación: Ediciones Gráficas Arial, S. L.
Diseño de cubierta: Equipo de diseño de Pearson Educación S.A.
Impreso por:

IMPRESO EN ESPAÑA - *PRINTED IN SPAIN*
Este libro ha sido impreso con papel y tintas ecológicos

Nota sobre enlaces a páginas web ajenas: Este libro puede incluir enlaces a sitios web gestionados por terceros y ajenos a PEARSON EDUCACIÓN S.A. que se incluyen sólo con finalidad informativa. PEARSON EDUCACIÓN S.A. no asume ningún tipo de responsabilidad por los daños y perjuicios derivados del uso de los datos personales que pueda hacer un tercero encargado del mantenimiento de las páginas web ajenas a PEARSON EDUCACIÓN S. A y del funcionamiento, accesibilidad o mantenimiento de los sitios web no gestionados por PEARSON EDUCACIÓN S.A. Las referencias se proporcionan en el estado en que se encuentran en el momento de publicación sin garantías, expresas o implícitas, sobre la información que se proporcione en ellas.

Prólogo para el estudiante

Este libro está escrito pensando en ti, el estudiante. La anatomía y la fisiología humanas son algo más que interesantes... son fascinantes. Para ayudarte a que te sientas implicado en el estudio de esta asignatura, hemos incorporado varias peculiaridades a lo largo del libro.

El *estilo informal* en que está escrito te invita a aprender más sobre anatomía y fisiología sin que la materia resulte aburrida ni intimidatoria. Deseamos que disfrutes leyendo este libro.

Los *apartados temáticos* y las *tablas* están diseñados para ti. Los primeros presentan información científica que puede ser aplicable a tu vida diaria. Cuando los leas, seguramente te encontrarás diciéndote: "No sabía eso", o "ahora entiendo por qué...". Las tablas son resúmenes de información importante del texto. Deberías poder utilizar las tablas cuando estudies para un examen o estés repasando algún tema importante.

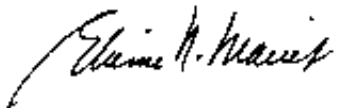
Los *términos importantes* se definen en el texto cuando aparecen por primera vez. Se facilita un extenso *glosario* al final del libro para ayudarte a repasar estos términos.

Cualquier examen causa ansiedad. Los exámenes de anatomía y fisiología no son una excepción. Para ayudarte a prepararte mejor para un examen o comprender el material que acabas de leer, podrás encontrar buenos *resúmenes, preguntas de repaso* y *problemas clínicos* (en la sección "Pensamiento crítico y aplicación a la práctica clínica") al final de cada capítulo. La sección *Sistemas interrelacionados*, que acompaña a cada sistema, también te será de gran utilidad, porque presenta de manera muy sencilla de qué modo los sistemas del cuerpo interaccionan unos con otros.

El material gráfico está diseñado para ayudarte a aprender las distintas estructuras y funciones del cuerpo humano. Todas las figuras se refieren a lo que se trata en el texto. La mejor manera de aprovechar el amplio material gráfico es estudiando con atención cada ilustración cuando se trate en el texto.

Asegúrate de entrar en *The Anatomy and Physiology Place,* en www.anatomyandphysiology.com. Encontrarás variedad de pruebas, preguntas cortas y otras actividades para ayudarte a obtener el título en anatomía y fisiología. Para que entiendas los conceptos fisiológicos con más facilidad, combina tu lectura del texto con la utilización del CD-ROM de los *Essentials of Interactive Physiology*® que viene incluido con el texto. Y recuerda que en el resumen de cada capítulo encontrarás referencias útiles al CD-ROM **IP** y a la página web de anatomía y fisiología *The Anatomy and Physiology Place* **WEB** para ayudarte con algunos temas específicos.

Espero que disfrutes con *Anatomía y Fisiología Humana* y que este libro haga que el aprendizaje de la anatomía y la fisiología humanas se convierta en un proceso divertido y gratificante. Escríbeme y cuéntame qué tal te va en tu curso de anatomía y fisiología.



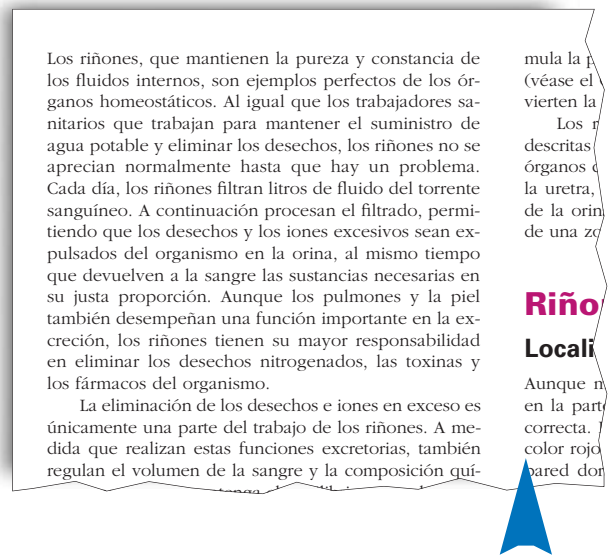
Elaine N. Marieb
Benjamin Cummings
1301 Sansome Street
San Francisco, CA 94111

Prólogo para el profesor

Con la novena edición de *Anatomía y Fisiología Humana* en nuestras manos, me gustaría aprovechar esta oportunidad para agradecer a mis leales usuarios y a aquellos que me han ayudado con su crítica constructiva durante más de veinte años. Mi propósito para este libro es que hable el idioma del estudiante de ciencias de la salud. Con los años, me he dado cuenta de que utilizar un estilo directo y ameno es la mejor manera de ayudar a los estudiantes que tienen unos conocimientos limitados en ciencias para que comprendan bien los conceptos fundamentales de la anatomía humana y de su funcionamiento interno. La presente edición sigue esta tradición. He actualizado el libro a conciencia (véase página ix, en la que presento una lista con las modificaciones capítulo por capítulo) y he incluido asuntos de actualidad, como temas de inmunología y avances clínicos, de modo que las explicaciones son precisas y actuales. Las siguientes páginas describen esta novena edición de *Anatomía y Fisiología Humana* con más detalle.

Organización

Como antes, unas revisiones amplias realizadas por instructores de anatomía y fisiología me ayudaron a elegir una presentación particular. Lo que decidí fue quedarme con una serie de temas que animan a su aprendizaje. El primer capítulo orienta a los estudiantes al nuevo mundo del aprendizaje en el que se van a sumergir: en la terminología anatómica, los nombres de las principales zonas del cuerpo y generalidades sobre las funciones que deben realizarse para sostener la vida. La química, las células, los tejidos y el primer sistema de órganos (la piel) se tratan en sucesión. La mayoría de los estudiantes consideran que la piel es un sistema interesante, por ello la transición a debates sobre sistemas de órganos se consigue con facilidad. En los capítulos siguientes se encuentran los sistemas que precisan de mucha terminología anatómica (por ejemplo, los sistemas esquelético, muscular y nervioso). Cada sistema orgánico se trata desde el nivel más simple en orden creciente hasta los niveles más complejos. Se enfatiza la comprensión de los conceptos, más que el aprendizaje de memoria.



Los riñones, que mantienen la pureza y constancia de los fluidos internos, son ejemplos perfectos de los órganos homeostáticos. Al igual que los trabajadores sanitarios que trabajan para mantener el suministro de agua potable y eliminar los desechos, los riñones no se aprecian normalmente hasta que hay un problema. Cada día, los riñones filtran litros de fluido del torrente sanguíneo. A continuación procesan el filtrado, permitiendo que los desechos y los iones excesivos sean expulsados del organismo en la orina, al mismo tiempo que devuelven a la sangre las sustancias necesarias en su justa proporción. Aunque los pulmones y la piel también desempeñan una función importante en la excreción, los riñones tienen su mayor responsabilidad en eliminar los desechos nitrogenados, las toxinas y los fármacos del organismo.

La eliminación de los desechos e iones en exceso es únicamente una parte del trabajo de los riñones. A medida que realizan estas funciones excretorias, también regulan el volumen de la sangre y la composición quí-

mula la p
(véase el
vierten la

Los r
descritas
órganos
la uretra,
de la orin
de una zo

Riño

Locali

Aunque n
en la part
correcta.
color rojo
pared dor

Analogías llenas de sentido y explicaciones exentas de tecnicismos.

Gracias a su propia experiencia como profesora de anatomía y fisiología y antigua estudiante de enfermería, Marieb presenta esta asignatura como una "historia" fácil de entender y de recordar.

Flexibilidad organizativa y estilo característico

Un buen libro de texto satisface las necesidades tanto de los profesores como de los estudiantes. Como cada profesor tiene un estilo personal y un enfoque filosófico del aprendizaje y de la organización del curso, he escrito cada capítulo con la idea de permitir una flexibilidad en la presentación de los temas. En la novena edición, se ofrece material de texto por partes. Hemos añadido más títulos de sección para enfocar la lectura del estudiante. Todos los capítulos son independientes, por eso un profesor puede elegir una secuencia de capítulos diferente y acorde con sus gustos personales.

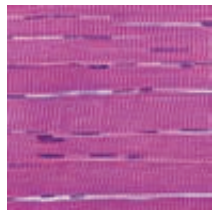
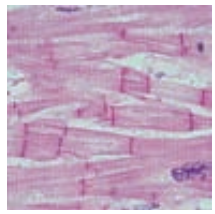
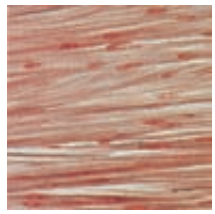
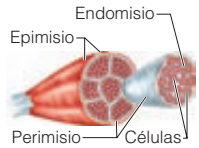
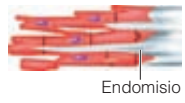
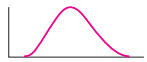
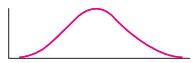
En esta edición hay un equilibrio entre conceptos anatómicos y fisiológicos. Las disfunciones y las enfermedades se tratan allí donde refuerzan la comprensión de la estructura y función humana normal. El estilo es intencionadamente informal y los temas complejos se explican mediante el uso de analogías para fomentar el interés del estudiante. En los ejemplos que precisan más memorización de terminología y hechos de lo normal, el material se presenta tanto en forma de texto como de tablas para reforzar su aprendizaje. Los términos se definen en el texto y en el glosario también.

HERRAMIENTAS DE ESTUDIO PARA ESTIMULAR EL APRENDIZAJE

Se utilizan algunas ayudas pedagógicas para asegurar que los estudiantes aprendan la terminología y los conceptos importantes. Además de las tablas ilustradas y las preguntas de la sección "¿Lo has entendido?" resaltadas a continuación, cada capítulo comienza con los objetivos del estudiante. Al final de cada capítulo se presenta el resumen de los contenidos del texto y las preguntas de repaso. En esta edición es nuevo el Apéndice D, en el que puedes encontrar las respuestas a las preguntas de repaso de respuesta múltiple, así como respuestas a las nuevas preguntas de la sección "¿Lo has entendido?". Además, en el Apéndice A se incluye una lista de raíces de palabras, prefijos y sufijos.

Las **tablas ilustradas** resumen información compleja y sirven de herramienta única para el estudio.

TABLA 6.1 Comparación de los músculos esqueléticos, cardíacos y lisos

Característica	Esqueléticos	Cardiacos	Lisos
Ubicación en el cuerpo	Adheridos a los huesos o, en el caso de algunos músculos faciales, a la piel	En las paredes del corazón	Principalmente en las paredes de los órganos viscerales huecos (no el corazón)
Forma y apariencia de las células	Células multinucleares, cilíndricas, muy largas y únicas con estriaciones claramente visibles	Cadenas ramificadas de células; mononucleares, con estriaciones; discos intercalados	Mononucleares, fusiformes, únicas; sin estriaciones
			
Componentes del tejido conectivo	Epimisio, perimisio y endomisio	Endomisio adherido al esqueleto fibroso del corazón	Endomisio
			
Regulación de la contracción	Voluntaria, a través de los controles del sistema nervioso	Involuntaria; el corazón tiene un pacificador; también controles del sistema nervioso; hormonas	Involuntaria; controles del sistema nervioso; hormonas, sustancias químicas, extendida
Velocidad de contracción	De lenta a rápida	Lenta	Muy lenta
			
		Sí	Sí, en algunos

gre. No se conocen trastornos importantes derivados de la hipo o hipersecreción de glucagón.

¿LO HAS ENTENDIDO?

13. ¿Qué hormona estimula los riñones para que reabsorban más sodio?
14. El marido de la señora Martínez ha sufrido un infarto y está hospitalizado. ¿Cabe esperar que sus niveles de glucosa en sangre sean elevados, normales o inferiores a lo normal? ¿Por qué?
15. ¿Qué grupo de hormonas producidas por la corteza adrenal tiene algunos de los mismos efectos que los ovarios y los testículos?
16. La insulina y el glucagón son hormonas pancreáticas. ¿Cuál de ellas estimula la absorción de glucosa?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

¡NUEVO! Las preguntas de la sección "¿Lo has entendido?" para comprobar conceptos siguen las secciones principales de cada capítulo y sirven para reforzar la comprensión del estudiante de los conceptos principales de la sección. Éstas también servirán como autocontrol para que el estudiante evalúe su progreso en el aprendizaje de los conceptos de cada capítulo. Las respuestas aparecen en el Apéndice D.

MATERIAL GRÁFICO CON PROPÓSITOS PEDAGÓGICOS

Revisiones del material gráfico

En esta edición se han añadido varios ejemplos de material gráfico y se han reconceptualizado o modernizado muchas figuras. Teniendo en cuenta que el aprendizaje automático es muy importante en el estudio y el aprendizaje de una asignatura como anatomía y fisiología, he seguido prestando gran atención al mantenimiento de un estilo uniforme y la utilización coherente del color en las estructuras que se repiten en los distintos capítulos. He cuidado especialmente la leyenda de cada ilustración para asegurar que sea consecuente con lo que se trata en el texto que la acompaña.

Todo el material gráfico de los huesos ha sido totalmente representado con medios informáticos por ilustradores médicos profesionales basándose en muchas reuniones conjuntas y en una comprobación constante de la precisión, que ha dado como resultado unas figuras de huesos que reflejan con increíble realismo las texturas y los detalles de los huesos. Cada imagen que se refiere a los músculos también se ha representado con medios informáticos para reflejar con gran realismo los ricos colores y texturas de los músculos reales.

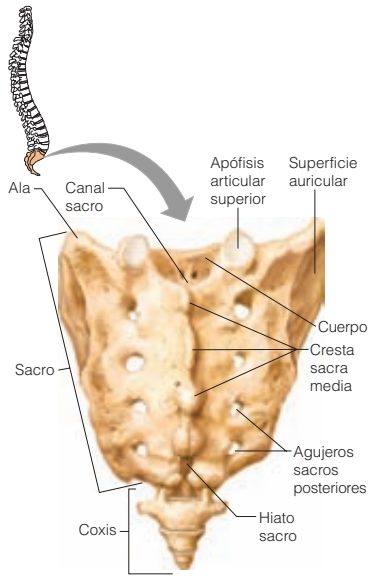
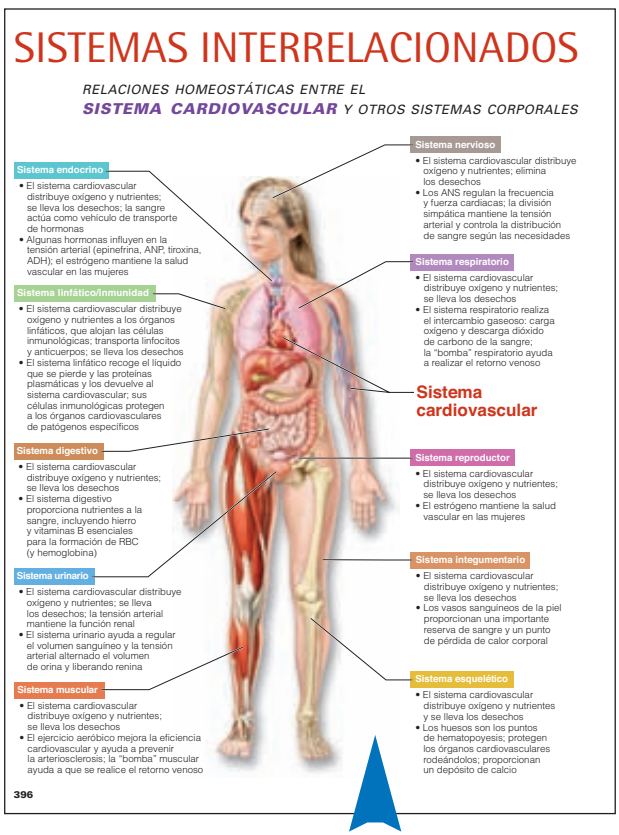


FIGURA 5.19 **Vista posterior del sacro y del coxis.**



¡REVISADO! Representaciones gráficas tridimensionales de los huesos de un realismo increíble

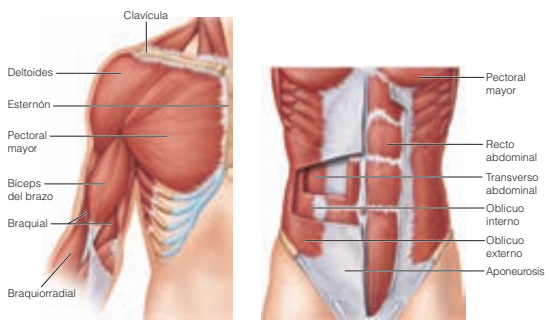


FIGURA 6.16 **Músculos del tronco anterior, los hombros y el brazo. (a)** Músculos que cruzan la articulación de los hombros, provocando así los movimientos del brazo. Se ha quitado de la imagen el platisma del cuello. **(b)** Músculos de la pared abdominal. Se han quitado partes de los músculos superficiales de la parte derecha del abdomen para mostrar los músculos más profundos.

¡REVISADO! Sistemas interrelacionados

Esta presentación resume de una manera sencilla para el estudiante la información básica que debe conocer sobre las interacciones existentes entre el sistema que se está estudiando y todos los demás sistemas del organismo. Este enfoque, que se proporciona para cada uno de los sistemas, ayuda a enfatizar la idea de que el cuerpo es un compuesto dinámico de partes interdependientes. Todas las figuras de la sección "Sistemas interrelacionados" se han representado con medios informáticos para mostrar presentaciones más realistas y dinámicas de la integración de los distintos sistemas corporales. Además, los títulos de los mismos se han coloreado, haciendo que sea más fácil que nunca navegar por estas sorprendentes figuras.

¡REVISADO! El tratamiento gráfico presenta una visión mucho más realista de los músculos

SECCIONES PARA CAPTAR EL INTERÉS DEL ESTUDIANTE

Más de cerca

Todas las presentaciones de la sección "Más de cerca" se han actualizado para captar el interés del estudiante incluyendo los nuevos avances científicos y temas curiosos elegidos a conciencia por su modernidad, tales como la anticoncepción (pág. 574), la obesidad (pág. 508) y el sida (pág. 432).

Orientación profesional

Esta sección, que consiste en entrevistas con diversos profesionales de la salud (como enfermeras, flebotomistas, higienistas dentales y otros), presenta a los estudiantes varias carreras profesionales que, en gran parte, tienen que ver con conocimientos basados en anatomía y fisiología humanas. Esta sección puede ayudar a los estudiantes a confirmar su elección de una carrera profesional o tal vez a sugerirles nuevas opciones que aún no habían considerado.

ÉNFASIS EN LA APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA Y EL PENSAMIENTO CRÍTICO

de la glán-

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

vioso y en-
trol, **(b)** el
orporales y
olan

24. Una mujer con pelo corporal excesivo y una voz profunda muestra los síntomas exteriores de una disfunción hormonal. ¿De cuál

¡NUEVO! Pensamiento crítico y aplicación a la práctica clínica

Esta sección única cierra cada capítulo con preguntas que ayudan a los estudiantes a aplicar los conceptos que han aprendido a situaciones clínicas.

Ejemplos clínicos con énfasis en la homeostasis

Como la homeostasis, es decir, el mantenimiento de un entorno interno estable es la situación más normal y deseable para el cuerpo, este concepto se introduce pronto (en el Capítulo 1) y después se insiste en él a lo largo de todo el libro. También se hace hincapié en que el estudiante comprenda que la pérdida de la homeostasis causa patologías o enfermedades tanto temporales como permanentes. Así, las enfermedades se presentan e integran con el material de texto siempre que aclaren el funcionamiento normal, no como un fin en sí mismas. Siempre se explica primero el proceso funcional normal. Los ejemplos clínicos elegidos son los que con más frecuencia ven las personas que trabajan en los ámbitos sanitarios similares y su intención es familiarizar a los estudiantes con las posibles consecuencias cuando se dañan las estructuras del organismo o los procesos funcionales se desvían de los caminos normales. En cada caso, las enfermedades se señalan con el símbolo de un balancín que ha perdido el equilibrio para recordar a los estudiantes que la enfermedad es resultado de una pérdida de homeostasis.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Una enfermedad rara que puede afectar a l
músculos durante la edad adulta es la **miastenia grave** (as
hen= debilidad), una enfermedad que se caracteriza por
caída de los párpados superiores, dificultad al tragar y al h
blar, y debilidad y cansancio muscular generalizados. La e
fermedad conlleva una escasez de receptores de acetilcolin

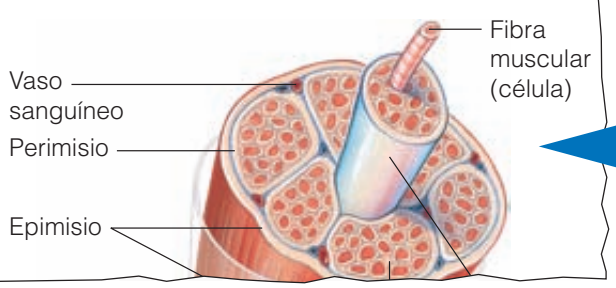
Formación y desarrollo del sistema muscular

En el embrión en desarrollo, el sistema muscular se divide en segmentos (parecido al plan estructural de un gusano) y después cada segmento está invadido por nervios. Los músculos de las re ones torácica y lumbar

Formación, desarrollo y envejecimiento

Cada capítulo termina con una sección sobre formación y desarrollo. La sección presenta la formación de ese sistema en el embrión y sigue los cambios que ocurren en la edad adulta y la vejez. Se presentan los problemas de salud característicos del sistema en cuestión y se hace énfasis en los problemas que acompañan al proceso de envejecimiento. Como muchas de las personas que trabajan en el cuidado de la salud están implicadas en el cuidado de la gente mayor, este énfasis será de gran utilidad para el estudiante de hoy.

P *¿Qué significa epi-? ¿y mis-? ¿Qué relación guardan estos prefijos con la función y la posición del epimisio?*



Las preguntas acompañan a algunas figuras a modo de leyenda y estimulan al estudiante a interpretar los conceptos o los procesos ilustrados o a hacer predicciones sobre "qué va a ocurrir". Como ya han demostrado su utilidad en anteriores ediciones, se mantienen en la actual.

CAMBIOS CAPÍTULO POR CAPÍTULO

Esta edición se ha actualizado exhaustivamente. Entre los cambios de cada capítulo encontramos:

Capítulo 1: El cuerpo humano: Introducción

- Figura 1.2 nueva, figuras de sistemas corporales de nueva presentación.
- Se añaden nuevos términos a puntos emblemáticos del cuerpo.
- Adición de una nueva sección: cavidades abiertas del cuerpo.

Capítulo 2: Química básica

- Amplia presentación de las formas de energía.
- Figura 2.4 nueva: Propiedades de un compuesto.
- Nueva Tabla 2.4: Factores que aumentan la velocidad de las reacciones químicas.
- Nuevas preguntas para las Figuras 2.8 y 2.15.
- Nuevas explicaciones sobre la dirección de las reacciones químicas y las cadenas de ácidos grasos y de las grasas.

Capítulo 3: Células y tejidos

- Nuevas preguntas para la Figura 3.2.
- Figura 3.10 ampliada: Difusión a través de la membrana plasmática.

Capítulo 4: La piel y las membranas corporales

- Explicación actualizada del sistema integumentario.
- Pautas actuales para reconocer los melanomas.
- Nuevas microfotografías para la Figura 4.6: Microfotografía de las glándulas cutáneas.

Capítulo 5: El sistema esquelético

- Representaciones totalmente nuevas de los huesos.
- Figura 5.15 nueva: Típica espina dorsal con forma de C de un recién nacido.
- Nueva Tabla 5.3: Resumen de las clases de articulaciones.
- Explicación ampliada de los huesos del brazo y de la cintura pélvica.

Capítulo 6: El sistema muscular

- Representaciones totalmente nuevas de los músculos.
- Nueva entrada en la Tabla 6.1 sobre los componentes del tejido conectivo, con material gráfico.
- Nueva entrada en la Tabla 6.4 sobre el cuadrado de los lumbares.

Capítulo 7: El sistema nervioso

- Explicación actualizada de la corteza cerebral.
- Nueva microfotografía en la Figura 7.4: Estructura de una neurona motora.
- Figura 7.15 nueva: Corte frontal del encéfalo que muestra las fibras comisurales y las fibras que comunican los hemisferios con el resto del CNS.
- Figura 7.19 nueva: Recién nacido con hidrocefalia (fotografía).
- Figura 7.22 nueva: Esquema de las vías ascendentes (sensitivas) y descendentes (motoras) existentes entre el encéfalo y la médula espinal.
- Información actualizada en la Tabla 7.2: Plexos de los nervios espinales.
- Adición del tejido adiposo como un órgano/sistema objetivo a la Tabla 7.3: Efectos de las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo.

Capítulo 8: Sentidos especiales

- Figura 8.1 nueva: Anatomía superficial del ojo y estructuras secundarias (fotografía).
- Nueva explicación sobre las capas pigmentada y neural del ojo.
- Explicación actualizada sobre el oído externo e interno y sobre las papilas gustativas.
- Secciones "Desequilibrio homeostático" actualizadas sobre la falta de oído y de equilibrio.

Capítulo 9: El sistema endocrino

- Nuevas secciones sobre los estímulos de la glándula endocrina.
- Figura 9.5 nueva: Trastornos de la hormona del crecimiento pituitaria (fotografías).
- Nueva fotografía para la sección "Más de cerca" sobre los usos potenciales de la hormona del crecimiento.
- Figura 9.11 nueva: Estructura microscópica de la glándula suprarrenal.
- Adición de la resistina a las hormonas de la Tabla 9.2: Hormonas producidas por otros órganos distintos a los principales órganos endocrinos.

Capítulo 10: La sangre

- Presentación actualizada de los componentes de la sangre, la albúmina y los granulocitos.
- Nuevas reglas mnemotécnicas para recordar la lista de glóbulos blancos por orden de abundancia relativa en la sangre.
- Columna añadida en la Tabla 10.3: Grupos sanguíneos, para las estadísticas de los americanos nativos sobre el porcentaje de los distintos tipos de sangre comparados con otros grupos.
- Todo el material de la sección "Más de cerca" sobre los sustitutos artificiales de la sangre es nuevo.

Capítulo 11: El sistema cardiovascular

- Nuevas explicaciones sobre los revestimientos del corazón.
- Figura 11.4 nueva: Diferencias anatómicas en los ventrículos derecho e izquierdo.
- Nuevo diagrama de flujo para la Figura 11.7: influencia de ciertos factores en el ciclo cardiaco; nuevo diagrama de flujo para la Figura 11.21, resumen de los factores que aumentan la tensión arterial.
- Figura 11.16 nueva: Esquema básico del sistema portal hepático y de los vasos asociados.
- Una sección "Más de cerca" actualizada sobre la aterosclerosis, incluyendo dos nuevas fotografías.
- Figura 11.23 nueva : Flujo de la mayor parte del líquido a través de las paredes capilares.

Capítulo 12: Sistema linfático y defensas del organismo

- Tabla 12.3 actualizada: Funcionamiento de las células y las moléculas implicadas en la inmunidad.
- En las figuras acerca de las células de respuesta inmune se ha actualizado el estilo para que sea más realista.

Capítulo 13: El aparato respiratorio

- Nueva presentación de los mecanismos de la respiración.
- Reorganización de la Figura 13.12: Centros de control respiratorio, vías aferentes y nervios efectores.

Capítulo 14: El sistema digestivo y el metabolismo corporal

- Nueva parte (d) para la Figura 14.14, que muestra el esfínter cardioesofágico relajado.
- Sección "Más de cerca" actualizada sobre las úlceras pépticas, con nuevas estadísticas, nueva explicación sobre los tratamientos y nueva fotografía adicional sobre las bacterias causantes de las úlceras.
- Adición de la gastrina intestinal a la Tabla 14.1: Hormonas y productos similares que actúan en la digestión.
- Nueva explicación sobre las contracciones del colon.
- Figura 14.17 nueva: La Pirámide-Guía de la Alimentación del USDA, con nuevas explicaciones.
- Sección "Más de cerca" actualizada sobre obesidad, con nuevas explicaciones sobre los fármacos y suplementos para perder peso y distintas dietas, incluyendo estadísticas actualizadas y una nueva fotografía.

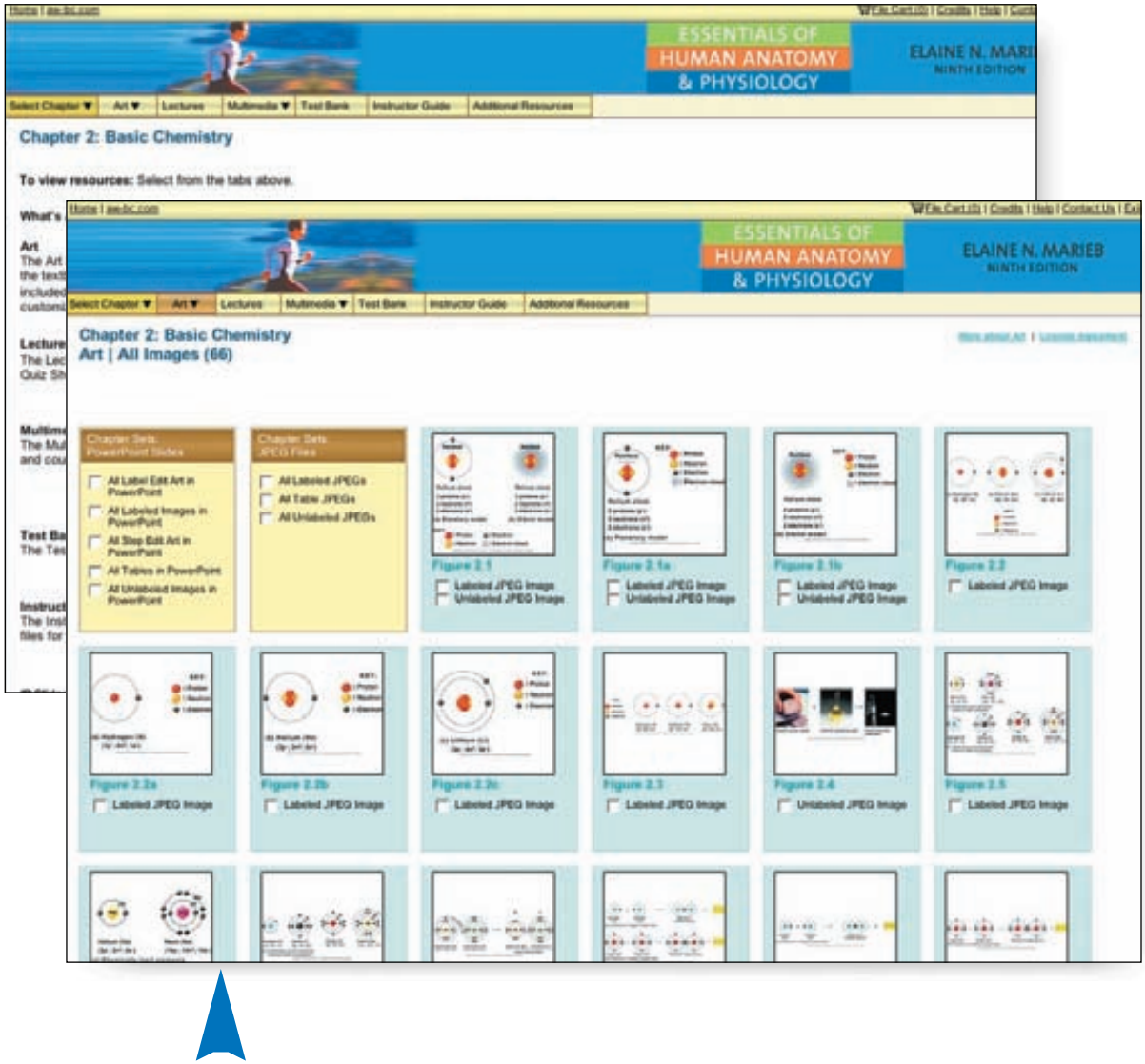
Capítulo 15: El aparato urinario

- Sección "Más de cerca" actualizada sobre el fallo renal, con nuevas estadísticas, señales de alerta ante un posible problema en el riñón y nuevas explicaciones sobre trasplantes.
- Figura 15.9 nueva: La mezcla continua de los fluidos corporales.
- Explicación añadida sobre la circulación del plasma y el mecanismo de la sed.

Capítulo 16: El sistema reproductor

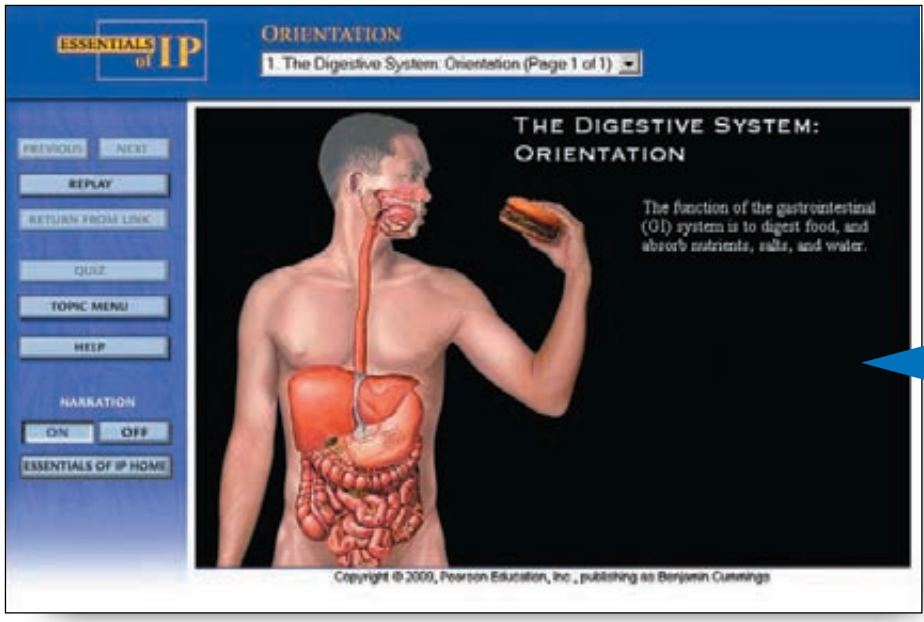
- Explicación añadida sobre los efectos metabólicos del estrógeno.
- Explicación ampliada sobre el desequilibrio homeostático relacionado con el cáncer de mama, con una nueva explicación sobre defectos hereditarios, herencia genética y factores de riesgo con estadísticas.
- Figura 16.17 nueva: Embrión de 7 semanas (fotografía).
- Sección "Más de cerca" actualizada sobre la anticoncepción, con nuevas explicaciones acerca de los métodos disponibles en el mercado.

COMPLEMENTOS MULTIMEDIA



¡NUEVO! CD-ROM del Gestor Multimedia 2.0

Nuevo para esta edición, este conjunto multiplataforma de CD-ROM organiza todos los recursos multimedia del profesor en una sola biblioteca digital de recursos fácil de usar. El Gestor Multimedia incluye todas las figuras y las tablas del texto tanto en formato JPEG como en PowerPoint®, que se puede descargar individualmente o por capítulos enteros. Las figuras seleccionadas también aparecen como *Label Edit Art* (material para edición de etiquetas), con etiquetas y cabeceras totalmente adaptables a las necesidades o gustos <del usuario, así como *Step Edit Art* (material para edición de pasos), que divide los procesos fisiológicos complejos en presentaciones paso a paso. Hay más de 40 animaciones adicionales, así como diapositivas de presentación de lecciones en PowerPoint®, preguntas para el usuario de Internet, la *Instructor Guide* (Guía del Profesor) y el *Test Bank* (Banco de Pruebas) en formato Word de Microsoft, diapositivas pertenecientes a *Essentials of InterActive Physiology*®, (IP o Fisiología Interactiva para EHAP), una nueva prueba de preguntas y respuestas interactiva que se puede utilizar durante la clase para fomentar la interacción del estudiante, y otras herramientas valiosas que ayudan a los profesores a crear presentaciones memorables sin esfuerzo alguno. El profesor puede buscar en el propio material, añadir recursos a un carrito de la compra y descargarlos con facilidad a su ordenador.



Los *Essentials of InterActive Physiology* (IP) actualizados y ampliados

Una herramienta de aprendizaje galardonada, dinámica y muy efectiva. Este CD-ROM presenta actividades seleccionadas específicamente del programa informático de IP para tu curso, con un nuevo módulo sobre el sistema digestivo. También se incluyen animaciones, cursillos autodidactas de aprendizaje autónomo y exámenes cortos. Los iconos con referencias a lo esencial de los cursillos de IP aparecen en los resúmenes de los capítulos del texto para ayudar a los estudiantes a integrar los conceptos que cubre el libro con los recursos multimedia. Este CD-ROM se incluye sin coste adicional con cada nueva copia del texto.

Opciones de gestión del curso

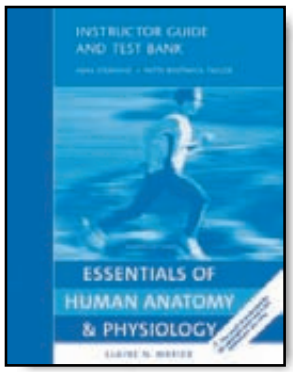
myA&P CourseCompass Este sistema de gestión del curso *online* ofrece todo lo que necesitas para poner tu curso en Internet. Cada capítulo incluye una *Learning Unit* (Unidad de Aprendizaje) adaptable a tu gusto compuesta por lecturas en libro electrónico, actividades de aprendizaje, ejercicios de *Anatomía y Fisiología Humana* y herramientas de autoaprendizaje. Los profesores también pueden utilizar el poderoso procesador de evaluación para asignar y graduar exámenes y hacer un seguimiento del progreso de los estudiantes. Ponte en contacto con tu representante local de ventas de Benjamin Cummings para obtener más información sobre cómo encargar este curso para tus estudiantes.

BlackBoard* y *WebCT Este sistema de libre acceso de gestión del curso ofrece contenidos preinstalados tales como bancos de preguntas de control y evaluación.

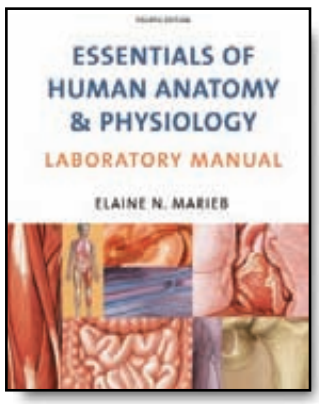
El sitio web de anatomía y fisiología

Este sitio web rediseñado y actualizado, de libre acceso, incluye actividades de aprendizaje, controles a realizar por uno mismo, cuestionarios de autoevaluación, estudios de caso y más para cada capítulo. La sección Instructor's Resource, protegida mediante una contraseña, contiene archivos JPEG y PowerPoint del texto, así como lecciones prediseñadas en PowerPoint.

COMPLEMENTOS ADICIONALES



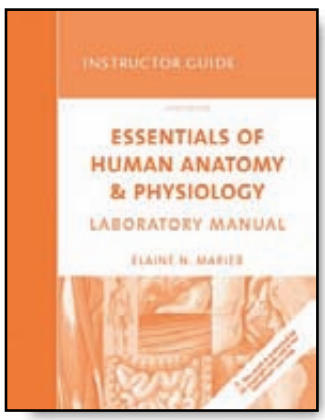
***Updated and Expanded Instructor Guide/Test Bank* (Banco de pruebas/ Guía del profesor actualizada y ampliada)** En la novena edición, se ha revisado la guía del profesor para que sirva de apoyo a cada capítulo. Un diseño más amplio de las lecciones, referencias actualizadas y nuevos trucos para enseñar hacen de esta guía una herramienta muy útil para los profesores. El banco de pruebas, que hemos mejorado, contiene ahora más de 1.500 preguntas (incluyendo muchas preguntas nuevas y actualizadas) en formatos múltiples con referencias a las páginas del texto y un gradiente de dificultad. También hay disponible una versión *TestGen* electrónica del banco de pruebas que permite a los profesores editar y personalizar el banco de pruebas para que se adapte a sus necesidades específicas.



***Essentials of Human Anatomy &Physiology Laboratory Manual,* cuarta edición** por Elaine N. Marieb. Diseñado para su uso en el curso de introducción al laboratorio de anatomía y fisiología, hemos desarrollado este manual de laboratorio para reflejar el ámbito y el ritmo de un primer curso. A la vez que complementa cualquier texto de un primer curso sobre anatomía y fisiología, se aprovechará al máximo si se utiliza junto con *Anatomía y Fisiología Humana,* novena edición. Uno de los manuales de laboratorio más vendidos para el primer curso, este manual ofrece 27 ejercicios de laboratorio concisos y basados en actividades que exploran los conceptos básicos de anatomía y fisiología. Incluye un atlas de histología a cuatro colores, un apartado de generalidades sobre las medidas de seguridad en un laboratorio y un ejercicio utilizando el microscopio. Cada laboratorio se presenta con unos objetivos concretos de aprendizaje, resúmenes excepcionalmente claros sobre conceptos clave y actividades especialmente estudiadas para desarrollar la capacidad de observación de los estudiantes en el laboratorio.

Transparencias

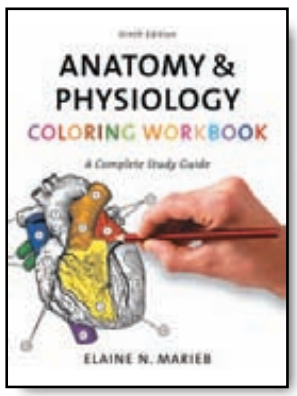
El paquete de transparencias de gran calidad incluye todas las ilustraciones (excepto las fotografías), es decir, aproximadamente 275 imágenes del texto. Son muy fáciles de leer y de utilizar en cualquier lugar.



***Instructor Guide* (Guía del profesor) para *Essentials of Human Anatomy & Physiology Laboratory Manual,* cuarta edición**

Esta útil guía incluye indicaciones detalladas para montar el laboratorio, comentarios sobre los ejercicios y respuestas a preguntas que aparecen en el manual de laboratorio. Incluye una guía de respuestas, recursos multimedia y consejos para la preparación y presentación del laboratorio.

***Anatomy &Physiology Coloring Workbook: A Complete Study Guide,* novena edición** por Elaine N. Marieb. Este excelente cuaderno independiente fomenta el aprendizaje con gran variedad de ejercicios visuales y escritos, combinando las mejores características y actividades tanto de una guía de estudio como de un libro para colorear.

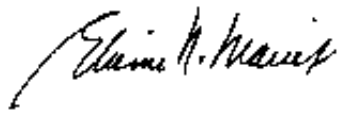


AGRADECIMIENTOS

Muchas personas han contribuido a mis esfuerzos para la creación de esta novena edición.

Me gustaría agradecer a los siguientes revisores por sus inteligentes críticas, que me ayudaron en esta revisión: Sheila Adenwalla, Fox Valley Technical College; Marcy Anholt, Springfield Technical Community College; C. Thomas G. Appleton, University of Western Ontario; James Barber, Florida State University; Rich Bennett, Southwestern College of Business; Susan Boggs, Piedmont Technical College; Patty Bostwick, Florence Darlington Technical College; Sarah Bouchard, Otterbein College; Roscoe Bowen, Campbellsville University; Jennifer Brown, Robeson Community College; Christy Carmack, Davidson County Community College; Mary Anne Cattieu, Erie Community College North Campus; Lu Anne Clark, Lansing Community College; Janice Close, Seminole Community College; Kris Correira, Quinsigamond Community College; Paula Curbo, Hill College; Patricia Daron, North Virginia Community College; Sandee Desmarais, Daytona Beach Community College; AB Dixon, Wingate University; Colleen Edwards, Clarke College; Todd Eglow, Berkeley College; James Ezell, J Sargeant Reynolds Community College; Daniel Filipkowski, Northampton Community College; Diane Flynn, Quinsigamond Community College; Marc Franco, South Seattle Community College; Donna Griffin, Odessa College; Mark Grigsby, Northeastern Oklahoma A&M College; Hugh Harling, Methodist College; Barbara A. Harper, Berkeley College; Charmaine Henry, Baker University; Mary Ann Hudson, Lurleen B Wallace Community College; William Huffaker, Vance-Granville Community College; Stephanie Irwin, Front Range Community College; Paul Jarrell, Pasadena City College; Jeff Jasperse, Pepperdine University; Linda Johnson, Mercyhurst North East; Cindy Jones, Red Rocks Community College; Brian Jordan, Lansing Community College; Kathy Kenna, Columbia College; Corrie Kezer, Rogue Community College; DuAnn Kremer, Lander University; Joseph K La Fazia, Bristol Community College; Frank Lammer, Northeast Iowa Community College; Laura Lee, University of Wisconsin-Marshfield/Wood County; Jimmy Manzano, Baltimore City Community College; Stephen Marenfeld, Herkimer County Community College; Marlene Martinez, American River College; Cheryl Matthias, Prairie State College; Dennis Mayfield, Tyler Junior College; Elizabeth Meyer, College of Lake County; John Minichiello, Middlesex Community College; Carla Murray, Carl Sandburg College; Jennifer Musa, Broome Community College; Sandra Namio, Mohave Community College; Hal Nauman, Clatsop Community College; Laurie Nelson, Pepperdine University; Chris Newhouse, Spring Arbor University; Chad Newton, Bakersfield College; Douglas Oba, University of Wisconsin-Marshfield/Wood County; Alisa Petree, McLennan Community College; Dorothy Puckett, Kilgore College; Sherry Ratzlaff, Asheville Buncombe Tech. Community College; Dorothy Reardon, American River College; Sheila Regan, Robe-son Community College; Carol Rhodes, Canada College; Jason Shaw, Idaho State University; Beth Short, Collin County Community College; Carl Shuster, Madison Area Technical College; Denise Smith, University of Cincinnati; Bonnie Sorenson, Imperial Valley College; Eric Stavney, DeVry University; W. Craig Stevens, West Chester University; Rick Stewart, Fresno City College; Pollyanna Strunk, Daymar College; Jerry Taylor, Southwestern College; Deborah Temperly, Delta College; Sandy Thompson, South Seattle Community College; Maridy Troy, Western Carolina University; Jennifer van de Kamp, Front Range Community College; Paula Vosburgh, Caritas Laboure College; Khursheed Wankadiya, Central Piedmont Community College; Mary Weis, Collin County Community College District; Michele Zimmerman, Indiana University Southeast.

El personal de Benjamin Cummings contribuyó inmensamente con su apoyo y su asesoramiento y merecen un caluroso aplauso, todos y cada uno de ellos. Deseo expresar mi agradecimiento especial a Deirdre Espinoza, redactora jefe de compras y nueva en mi equipo para esta edición, y a Sabrina Larson, mi editora de proyecto. Vaya también mi agradecimiento a Laura Southworth por su trabajo de revisión y edición del manuscrito gráfico y a Shannon Cutt, auxiliar de edición, por su gestión del paquete de complementos. También quiero dar las gracias al equipo de producción de *Wendy Earl Productions,* especialmente a Janet Vail, cuyo diligente manejo y control de todos los detalles de producción hizo de este proceso algo tan exento de complicaciones como fue humanamente posible.



Elaine N. Marieb

Benjamin Cummings
1301 Sansome Street
San Francisco, CA 94111
Estados Unidos

Índice

1 EL CUERPO HUMANO: INTRODUCCIÓN 1

Visión general de anatomía y fisiología 2

Anatomía 2

Fisiología 2

Relación entre anatomía y fisiología 2

Niveles de organización estructural 3

De átomos a organismos 3

Visión general de los sistemas de órganos 4

Sistema tegumentario • Sistema óseo • Sistema muscular • Sistema nervioso • Sistema endocrino • Sistema cardiovascular • Sistema linfático • Sistema respiratorio • Sistema digestivo • Sistema urinario • Aparato reproductor

Mantenimiento de la vida 10

Funciones vitales necesarias 10

Mantenimiento de los límites • Movimiento • Reactividad • Digestión • Metabolismo • Excreción • Reproducción • Crecimiento

Necesidades de supervivencia 11

Homeostasis 12

Mecanismos de control homeostático 12

El lenguaje de la anatomía 15

Posición anatómica 15

Términos de dirección 15

Términos regionales 16

Hitos corporales anteriores • Hitos corporales posteriores

Planos y secciones del cuerpo 17

Cavidades corporales 17

Cavidad dorsal del cuerpo • Cavidad ventral del cuerpo • Cavidades corporales abiertas

RESUMEN 22

PREGUNTAS DE REPASO 23

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 25

Orientación profesional Higienista dental 14

Más de cerca Imágenes médicas: iluminar el cuerpo 8

2 QUÍMICA BÁSICA 26

Conceptos de materia y energía 27

Materia 27

Energía 27

Formas de energía • Energía procedente de conversiones

Composición de la materia 29

Elementos y átomos 29

Estructura atómica 29

Modelos planetario y orbital de un átomo

Identificar elementos 31

Número atómico • Masa atómica • Peso atómico e isótopos

Moléculas y compuestos 34

Enlaces químicos y reacciones químicas 35

Formación de los enlaces 35

El papel de los electrones • Tipos de enlaces químicos

Pautas de las reacciones químicas 40

Reacciones de síntesis • Reacciones de descomposición • Reacciones de intercambio • Factores que influyen en la velocidad de las reacciones químicas

Capítulo 2, continuación

Bioquímica: la composición química de la materia viva 41

Compuestos inorgánicos 42
El agua • Las sales • Ácidos y bases

Compuestos orgánicos 45
Hidratos de carbono • Lípidos • Proteínas • Ácidos nucleicos • Adenosín trifosfato (ATP)

RESUMEN 58

PREGUNTAS DE REPASO 61

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 63

Orientación profesional Técnico en alimentación 53

Más de cerca La huella genética: el desciframiento de nuestro "código de barras" genético 57

3 CÉLULAS Y TEJIDOS 64

PARTE I: LAS CÉLULAS 65

Introducción a la base celular de la vida 65

Anatomía de una célula tipo 66

El núcleo 67
Envoltura nuclear • Nucleolos • Cromatina

La membrana plasmática 67
Especializaciones en la membrana plasmática

El citoplasma 69
Orgánulos citoplasmáticos

Diversidad celular 74

Fisiología celular 76

Transporte de membrana 76
Procesos de transporte pasivo: difusión y filtración • Procesos de transporte activo

División celular 83
Preparaciones: la replicación del DNA • ¿Qué ocurre durante la división celular?

Síntesis de proteínas 86
Genes: el diseño de la estructura de las proteínas • El papel del RNA • La transcripción • La traducción

PARTE II: TEJIDOS DEL CUERPO 88

Tejido epitelial 88

Características especiales del epitelio 89

Clasificación del tejido epitelial 89
Epitelio simple • Epitelio estratificado • Epitelio glandular

Tejido conectivo 93

Características comunes del tejido conectivo 93

Matriz extracelular 93

Tipos de tejido conectivo 94
Hueso Cartílago • Tejido conectivo denso • Tejido conectivo laxo • Sangre

Tejido muscular 98

Tipos de tejido muscular 98
Músculo esquelético • Músculo cardiaco • Músculo liso

Tejido nervioso 98

Reparación de tejidos (curación de heridas) 100

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE CÉLULAS Y TEJIDOS 101

RESUMEN 104

PREGUNTAS DE REPASO 106

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 108

Más de cerca Terapia intravenosa y "tónicos" celulares 80

Más de cerca Cáncer, el enemigo íntimo 102

4 LA PIEL Y LAS MEMBRANAS CORPORALES 109

Clasificación de las membranas corporales 110

Membranas epiteliales 110
Membrana cutánea • Membranas mucosas • Membranas serosas

Membranas del tejido conectivo 112

El sistema integumentario (piel) 114

Funciones del sistema integumentario 114

Estructura de la piel 115
Epidermis • Dermis

El color de la piel 118

Anejos cutáneos 119
Glándulas cutáneas • Pelo y folículos capilares • Uñas

Desequilibrios homeostáticos de la piel 123
Infecciones y alergias • Quemaduras • Cáncer de piel

Formación y desarrollo de la piel y las membranas corporales 127

RESUMEN 130

PREGUNTAS DE REPASO 131

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 132

Más de cerca Tatuajes 113

Orientación profesional Transcriptor médico 128

Sistemas interrelacionados 129

5 EL SISTEMA ESQUELÉTICO 133

Huesos: descripción general 134

Funciones de los huesos 134

Clasificación de los huesos 135

Estructura de los huesos largos 135
Anatomía general • Anatomía microscópica

Formación, crecimiento y remodelación óseos 140

Fracturas óseas 142

Esqueleto axial 145

Esqueleto de la cabeza 145
Cráneo • Huesos faciales • El hueso hioides • Cráneo fetal

Columna vertebral (espina dorsal) 150
Vértebras cervicales • Vértebras torácicas • Vértebras lumbares • Sacro • Coxis

Caja torácica 157
Esternón • Costillas

Esqueleto apendicular 158

Huesos de la cintura escapular 158

Huesos de los miembros superiores 160
Brazo • Antebrazo • Mano

Huesos de la cintura pélvica 162

Huesos de los miembros inferiores 164
Muslo • Pierna • Pie

Articulaciones 166

Articulaciones fibrosas 168

Articulaciones cartilaginosas 168

Articulaciones sinoviales 168

Tipos de articulaciones sinoviales según la forma 170

Formación y desarrollo del esqueleto 174

RESUMEN 178

PREGUNTAS DE REPASO 179

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 181

Más de cerca Protege tu espalda: es la única que tienes 152

➤

Capítulo 5, continuación

Más de cerca Huesos de acá para allá: avances clínicos en la reparación ósea 167

Sistemas interrelacionados 177

6 EL SISTEMA MUSCULAR 182

Visión general de los tejidos musculares 183

Tipos de músculos 183
Músculos esqueléticos • Los músculos lisos • El músculo cardiaco

Las funciones de los músculos 187
Producción de movimiento • Mantenimiento de la postura • Estabilización de las articulaciones • Generación de calor

Anatomía microscópica de los músculos esqueléticos 187

Actividad de los músculos esqueléticos 189

Estimulación y contracción de las células de los músculos esqueléticos 189
El estímulo nervioso y el potencial de acción • Mecanismo de contracción muscular: la teoría del filamento deslizante

Contracción de un músculo esquelético en su conjunto 194
Respuestas graduadas • Provisión de energía para la contracción muscular • Fatiga muscular y déficit de oxígeno • Tipos de contracciones musculares: isotónicas e isométricas • El tono muscular • El efecto del ejercicio en los músculos

Movimientos musculares, tipos y nombres 198

Tipos de movimientos corporales 198
Movimientos especiales

Interacciones de los músculos esqueléticos en el organismo 202

Denominación de los músculos esqueléticos 202

Disposición de los fascículos 204

Anatomía básica de los músculos esqueléticos 206

Los músculos de la cabeza y el cuello 206
Los músculos faciales • Los músculos de la masticación • Los músculos del cuello

Los músculos del tronco 207
Los músculos anteriores • Los músculos posteriores

Los músculos de las extremidades superiores 210
Músculos del húmero que actúan en el antebrazo

Músculos de las extremidades inferiores 211
Los músculos que causan movimientos en la articulación de la cadera • Músculos que provocan movimiento en la articulación de la rodilla • Músculos que provocan el movimiento en el tobillo y el pie

Formación y desarrollo del sistema muscular 221

RESUMEN 223

PREGUNTAS DE REPASO 224

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 226

Más de cerca ¿Afectan los esteroides anabolizantes positivamente en el rendimiento y el aspecto físico de los atletas? 203

Orientación profesional Masoterapeuta 220

Sistemas interrelacionados 222

7 EL SISTEMA NERVIOSO 227

Organización del sistema nervioso 229

Clasificación estructural 229

Clasificación funcional 229

Tejido nervioso. Estructura y función 230

Células de soporte 230

Neuronas 232
Anatomía • Clasificación • Fisiología

Sistema nervioso central 242

Anatomía funcional del encéfalo 242
Hemisferios cerebrales • Diencéfalo • Tronco encefálico • Cerebelo

Protección del sistema nervioso central 248
Meninges • Líquido cefalorraquídeo • La barrera hematoencefálica

Enfermedades cerebrales 252
Traumatismos craneoencefálicos

Médula espinal 255
Sustancia gris de la médula espinal y raíces medulares • Sustancia blanca de la médula espinal

Sistema nervioso periférico 258

Estructura del nervio 258

Pares craneales 258

Nervios espinales y plexos nerviosos 262

Sistema nervioso autónomo 262
Diferencias entre el sistema nervioso autónomo y el sistema nervioso somático • Anatomía de la división parasimpática • Anatomía de la división simpática • Funcionamiento autónomo

Formación y desarrollo del sistema nervioso 272

RESUMEN 275

PREGUNTAS DE REPASO 277

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 279

Más de cerca Alzheimer, Parkinson y huntington: el trío terrible 253

Más de cerca Localización de los problemas del CNS 271

Sistemas interrelacionados 274

8 SENTIDOS ESPECIALES 280

PARTE I: EL OJO Y LA VISTA 281

Anatomía del ojo 281

Estructuras externas y secundarias 281

Estructuras internas: el globo ocular 283
Capas que forman la pared del globo ocular • Lente

La ruta de la luz a través del ojo y la refracción de la luz 290

Campos y rutas visuales hasta el cerebro 290

Reflejos oculares 291

PARTE II: LA OREJA: EL OÍDO Y EL EQUILIBRIO 294

Anatomía de la oreja 294

El oído externo 294

El oído medio 294

El oído interno 295

Mecanismos del equilibrio 296

Equilibrio estático 296

Equilibrio dinámico 297

Mecanismo del oído 298

Deficiencias auditivas y del equilibrio 300

PARTE III: SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO Y OLFATO 301

Los receptores olfatorios y el sentido del olfato 301

Papilas gustativas y el sentido del gusto 302

Capítulo 8, continuación

PARTE IV: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LOS SENTIDOS ESPECIALES 303

RESUMEN 305

PREGUNTAS DE REPASO 307

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 308

Más de cerca Pigmentos visuales: los auténticos fotorreceptores 287

Más de cerca Si no puedo ver objetos lejanos, ¿soy corto de vista o hipermétrope? 292

9 EL SISTEMA ENDOCRINO 309

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas. Visión general 310

La química de las hormonas 310

Mecanismos de la acción hormonal 311
Activación genética directa • Sistema del segundo mensajero

Control de la liberación de hormonas 311
Estímulos de la glándula endocrina

Los principales órganos endocrinos 313

La hipófisis 314
Las hormonas hipofisarias anteriores • Relación entre la hipófisis y el hipotálamo • Las hormonas hipofisarias posteriores

La glándula tiroides 319

Glándulas paratiroides 321

Las glándulas suprarrenales 322
Las hormonas de la corteza suprarrenal • Las hormonas de la médula suprarrenal

Los islotes pancreáticos 326

La glándula pineal 329

La glándula timo 329

Las gónadas 329
Las hormonas de los ovarios • Las hormonas de los testículos

Otros tejidos y órganos que producen hormonas 332

La placenta 332

Formación y desarrollo del sistema endocrino 332

RESUMEN 335

PREGUNTAS DE REPASO 337

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 338

Más de cerca Usos potenciales de la hormona del crecimiento 317

Sistemas interrelacionados 334

10 LA SANGRE 339

Composición y funciones de la sangre 340

Componentes 340

Características físicas y volumen 340

Plasma 340

Elementos figurados 342
Eritrocitos • Leucocitos • Plaquetas

Hematopoiesis (formación de las células de la sangre) 347
Formación de glóbulos rojos • Formación de glóbulos blancos y plaquetas

Hemostasis 349

Trastornos de la hemostasis 350

Grupos sanguíneos y transfusiones 351

Los grupos sanguíneos humanos 351

Tipos de sangre 354

Formación y desarrollo de la sangre 354

RESUMEN 357

PREGUNTAS DE REPASO 358

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 359

Orientación profesional Técnico en flebotomía 352

Más de cerca Crear sangre: sustitutos artificiales de la sangre 355

11 EL SISTEMA CARDIOVASCULAR 360

El corazón 362

Anatomía del corazón 362
Ubicación y tamaño • Revestimientos y pared • Cámaras y grandes vasos asociados • Válvulas • Circulación cardiaca

Fisiología del corazón 368
Sistema de conducción intrínseco del corazón: establecimiento del pulso básico • El ciclo del corazón y los ruidos cardiacos • Gasto cardiaco

Vasos sanguíneos 374

Anatomía microscópica de los vasos sanguíneos 374
Túnicas • Diferencias estructurales en las arterias, venas y capilares

Anatomía general de los vasos sanguíneos 378
Las principales arterias de la circulación sistémica • Las principales venas de la circulación sistémica • Circulaciones especiales

Fisiología de la circulación 387
Pulso arterial • Tensión arterial • Intercambio capilar de gases y nutrientes • Movimientos de los líquidos en los lechos capilares

Formación y desarrollo del sistema cardiovascular 395

RESUMEN 397

PREGUNTAS DE REPASO 399

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 401

Más de cerca Electrocardiografía: mi corazón aún no 370

Orientación profesional Técnicos quirúrgicos certificados 382

Más de cerca ¿Aterosclerosis? ¡Qué se elimine la obstrucción cardiovascular! 392

Sistemas interrelacionados 396

12 EL SISTEMA LINFÁTICO Y LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO 402

PARTE I: EL SISTEMA LINFÁTICO 403

Vasos linfáticos 403

Ganglios linfáticos 405

Otros órganos linfoides 407

PARTE II: LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO 408

Defensas innatas del organismo 409

Barreras de la membrana de superficie 409

Defensas internas: células y sustancias químicas 396
Fagocitos • Linfocitos citolíticos naturales • Respuesta inflamatoria • Proteínas antimicrobianas • Fiebre

Defensas adaptativas del organismo 415

Antígenos 416

Células del sistema de defensa adaptativo: resumen 416
Linfocitos • Macrófagos

Respuesta inmunitaria humoral (mediada por anticuerpos) 418

➤

Capítulo 12, continuación

Inmunidad humoral activa y pasiva • Anticuerpos

Respuesta inmunitaria celular (mediada por células) 425

Trasplantes de órganos y rechazo 427

Desórdenes de la inmunidad 429

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA LINFÁTICO Y LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO 431

RESUMEN 435

PREGUNTAS DE REPASO 437

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 438

Más de cerca SIDA: la plaga de esta época 432

Sistemas interrelacionados 434

13 EL APARATO RESPIRATORIO 440

Anatomía funcional del aparato respiratorio 441

La nariz 441

Faringe 443

Laringe 444

Tráquea 444

Bronquios principales 445

Pulmones 445

Membrana respiratoria

Fisiología respiratoria 448

Mecanismos de la respiración 449

Inspiración • Espiración • Movimientos aéreos no respiratorios

Volúmenes y capacidades respiratorios 452

Sonidos respiratorios 453

Respiración externa, transporte de gases y respiración interna 453

Respiración externa • Transporte de gases en la sangre • Respiración interna

Control de la respiración 456

Regulación neurológica: las bases del ritmo • Factores no neurales que influyen en la frecuencia y profundidad respiratoria

Enfermedades respiratorias 460

Formación y desarrollo del aparato respiratorio 461

RESUMEN 465

PREGUNTAS DE REPASO 466

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 467

Más de cerca El cáncer de pulmón: qué sucede tras la cortina de humo 458

Orientación profesional Auxiliar de enfermería (AE) 462

Sistemas interrelacionados 463

14 EL SISTEMA DIGESTIVO Y EL METABOLISMO CORPORAL 468

PARTE I: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA DIGESTIVO 469

Anatomía del sistema digestivo 469

Órganos del tubo digestivo 470

Boca • Faringe • Esófago • Estómago • Intestino delgado • Intestino grueso

Órganos digestivos secundarios 479

Dientes • Glándulas salivares • Páncreas • El hígado y la vesícula biliar

Funciones del sistema digestivo 481

Descripción general de los procesos y controles gastrointestinales 481

Actividades que se producen en la boca, la faringe y el esófago 485
Ingestión y descomposición de los alimentos • Impulsión de los alimentos: deglución y peristalsis

Actividades del estómago 485
Descomposición de los alimentos • Propulsión de los alimentos

Actividades del intestino delgado 489
Descomposición y absorción de los alimentos • Propulsión de los alimentos

Actividades del intestino grueso 492
Descomposición y absorción de los alimentos • Propulsión del residuo y defecación

PARTE II: NUTRICIÓN Y METABOLISMO 493

Nutrición 493

Fuentes alimentarias de los nutrientes esenciales 494
Hidratos de carbono • Lípidos • Proteínas • Vitaminas • Minerales

Metabolismo 495

Metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas en las células del organismo 496
Metabolismo de los hidratos de carbono • Metabolismo de las grasas • Metabolismo de las proteínas

La función central del hígado en el metabolismo 500
Funciones metabólicas generales • El metabolismo y transporte del colesterol

Equilibrio energético del organismo 502
Regulación del aporte alimentario • Índice metabólico y producción de calor corporal

Regulación de la temperatura corporal 504

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA DIGESTIVO Y EL METABOLISMO 506

RESUMEN 512

PREGUNTAS DE REPASO 514

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 516

Más de cerca Úlceras pépticas: "Algo me está comiendo" 488

Más de cerca Obesidad: la solución mágica deseada 508

Sistemas interrelacionados 511

15 EL APARATO URINARIO 517

Riñones 518

Localización y estructura 518
Suministro de sangre

Nefronas y formación de la orina 521
Nefronas • Formación de la orina • Características de la orina

Uréteres, vejiga urinaria y uretra 528

Uréteres 528

Vejiga urinaria 528

Uretra 529

Micción 530

Equilibrio de fluidos, electrolítico y ácido-base 531

Mantenimiento del equilibrio electrolítico y del balance hídrico 531
Fluidos corporales y compartimentos de los fluidos • Relación entre el agua y la sal • Regulación del consumo y la pérdida de agua

Mantenimiento del equilibrio ácido-base de la sangre 535
Amortiguadores de la sangre • Controles del sistema respiratorio • Mecanismos renales

Formación y desarrollo del aparato urinario 538

RESUMEN 540

PREGUNTAS DE REPASO 541

Capítulo 15, continuación

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 542

Más de cerca Insuficiencia renal y riñones artificiales 526

Sistemas interrelacionados 539

16 EL SISTEMA REPRODUCTOR 544

Anatomía del sistema reproductor masculino 546

Testículos 546

Sistema de conductos 546
Epidídimo • Conducto deferente • Uretra

Glándulas anexas y semen 548
Vesículas seminales • Próstata • Glándulas bulbouretrales • Semen

Genitales externos 549

Funciones reproductoras masculinas 550

Espermatogénesis 550

Producción de testosterona 552

Anatomía del sistema reproductor femenino 553

Ovarios 553

Sistema de conductos 554
Trompas de Falopio • El útero • Vagina

Genitales externos 556

Funciones y ciclos reproductores femeninos 557

La ovogénesis y el ciclo ovárico 557

El ciclo uterino (menstrual) 559

Producción de hormonas por parte de los ovarios 561

Glándulas mamarias 561

Estudio sobre el embarazo y el desarrollo embrionario 563

El logro de la fertilización 563

Hechos del desarrollo embrionario y fetal 565

Efectos de la gestación en la madre 566
Cambios anatómicos • Cambios fisiológicos

El nacimiento 569
Inicio del parto • Fases del parto

Aspectos del desarrollo del sistema reproductor 571

RESUMEN 578

PREGUNTAS DE REPASO 580

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA 581

Orientación profesional Doula (monitora del parto) 572

Más de cerca Contracepción: evitar el embarazo 574

Sistemas interrelacionados 577

Apéndices

Apéndice A: Lexemas, prefijos y sufijos 583

Apéndice B: Tabla periódica de los elementos 586

Apéndice C: Información clave sobre las vitaminas y muchos minerales esenciales 587

Apéndice D: Respuestas a las preguntas de "¿lo has entendido?" y preguntas de repaso (respuesta múltiple) 589

Créditos fotográficos y de las ilustraciones 597

Glosario 598

Índice analítico 609

CAPÍTULO 1

El cuerpo humano: introducción

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

NUESTROS OBJETIVOS

Visión general de anatomía y fisiología **(págs. 2-3)**

- Definición de *anatomía* y *fisiología*.
- Relación entre ambas.

Niveles de organización estructural **(págs. 3-7, 10)**

- Conocer los niveles de organización estructural que componen el cuerpo humano y explicar cómo se relacionan.
- Nombrar los sistemas de órganos del cuerpo y describir las principales funciones de cada sistema.
- Clasificar todos los órganos tratados según su sistema.
- Identificar los órganos mostrados en un diagrama o un torso diseccionable.

Mantenimiento de la vida (págs. 10-12)

- Enumerar las funciones que deben realizar los seres humanos para mantenerse vivos.
- Enumerar las necesidades de supervivencia del cuerpo humano.

Homeostasis (págs. 12-13, 15)

- Definir *homeostasis* y explicar su importancia.
- Definir *retroalimentación negativa* y describir su función en el mantenimiento de la homeostasis en el funcionamiento corporal normal.

El lenguaje de la anatomía (págs. 15-22)

- Describir verbalmente o mostrar las posiciones anatómicas.
- Usar una terminología anatómica correcta para describir las direcciones, superficies y planos corporales.
- Ubicar las cavidades corporales importantes y enumerar los órganos principales en cada una.

Visión general de anatomía y fisiología

La mayoría de nosotros siente interés sobre el cuerpo humano y sus reacciones. Esta curiosidad puede observarse incluso en los lactantes, que pueden permanecer mucho tiempo mirándose las manos o tirando de la nariz de su madre. Los niños de más edad se preguntan adónde va la comida cuando la tragan y algunos creen que, si se tragan semillas de sandía, les crecerá una en la barriga. Si algún miembro del personal médico se les acerca, empiezan a gritar (por miedo a las inyecciones), pero les encanta jugar a los médicos. Los adultos se inquietan cuando sienten latir el corazón, sufren sofocos incontrolables o no pueden mantener un peso ideal.

La anatomía y la fisiología, partes de la biología, exploran muchos de estos temas, pues describen cómo funcionan y se engranan nuestros cuerpos.

Anatomía

La **anatomía** es el estudio de la estructura y la forma del cuerpo y sus partes, además de las relaciones entre ellas. Cuando estudiamos el cuerpo o las grandes estructuras corporales, como el corazón o los huesos, nos dedicamos a la *anatomía macroscópica*, es decir, estudiamos estructuras grandes que pueden observarse con facilidad. De hecho, el término *anatomía*, deriva de las palabras griegas que significan cortar *(tomía)* y separar *(ana)*, y se relaciona estrechamente con los estudios anatómicos macroscópicos porque en ellos se diseccionan animales conservados o sus órganos para su observación. Por el contrario, la *anatomía microscópica*, es el estudio de las estructuras corporales demasiado pequeñas para verse a simple vista, como células y tejidos corporales que sólo pueden verse por medio de un microscopio.

Fisiología

La **fisiología** es el estudio del modo en que funcionan el cuerpo y sus partes de *physio*, naturaleza; y *ología*, estudio de). Al igual que la anatomía, se subdivide en varias disciplinas. Por ejemplo, la *neurofisiología* explica el funcionamiento del sistema nervioso y la *cardiofisiología* estudia el funcionamiento del corazón, que actúa como una bomba muscular para mantener el flujo sanguíneo por el cuerpo.

Relación entre anatomía y fisiología

La anatomía y la fisiología están siempre relacionadas, pues las partes del cuerpo humano forman una unidad bien organizada y cada una de ellas desempeña un papel en el correcto funcionamiento del organismo como un todo y la estructura determina qué funciones pueden realizarse; por ejemplo, los pulmones no son cámaras musculares como el corazón y no pueden bombear la sangre pero gracias a que las paredes de sus alvéolos son muy delgadas, *pueden* intercambiar los gases y proporcionar oxígeno al cuerpo. Para un aprendizaje significativo, este libro subraya la íntima relación entre anatomía y fisiología.

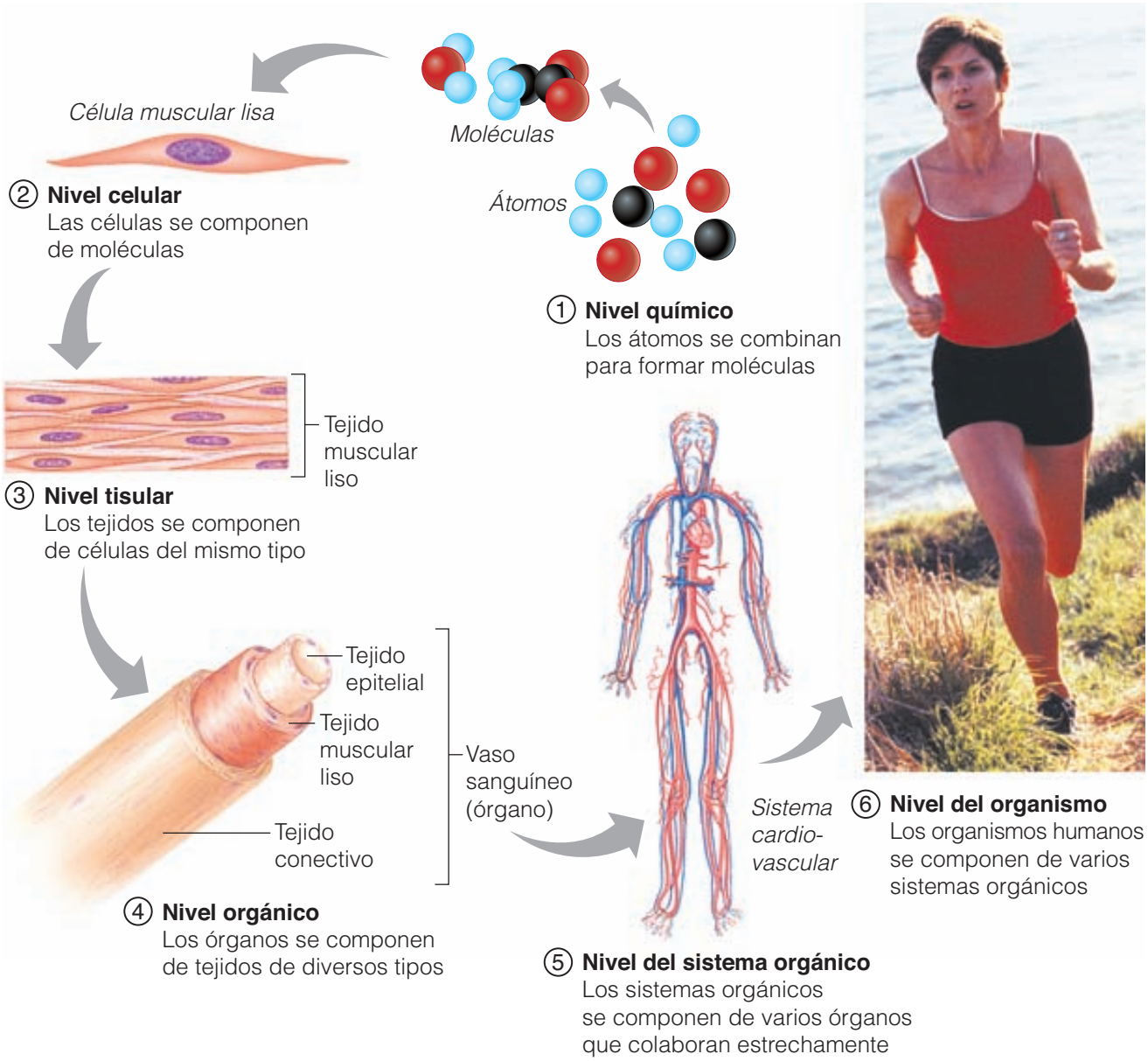


FIGURA 1.1 Niveles de organización estructural. Los componentes del sistema cardiovascular ilustran los diferentes niveles de organización estructural en un ser humano en este diagrama.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Por qué te resultaría difícil aprender y entender la fisiología si no comprendes la anatomía?

Véase la respuesta en el Apéndice D.

Niveles de organización estructural

De átomos a organismos

El cuerpo humano presenta varios niveles de complejidad estructural (Figura 1.1), el más sencillo de los cuales es el *nivel químico*, que se estudiará en el Ca-

pítulo 2. En este nivel, los **átomos**, minúsculas unidades de materia, se combinan para formar *moléculas* como agua, azúcar y proteínas, las cuales, a su vez, se asocian de formas determinadas para formar **células** microscópicas, las unidades más pequeñas de los seres vivos; este *nivel celular* se analiza el Capítulo 3. Todas las células desempeñan algunas funciones comunes, pero cada tipo de célula específico puede variar en tamaño y forma, reflejando sus funciones en el cuerpo.

Los seres vivos más sencillos se componen de una única célula, pero la escala estructural de los organismos complejos, como los árboles o los seres humanos, ha avanzado hasta el *nivel tisular*. Los **tejidos** son grupos de células similares con una función común. Como veremos en el Capítulo 3, cada uno de los cuatro tipos tisulares básicos (epitelial, conectivo, muscular y nervioso) desempeña una función definida y diferente en el cuerpo.

Un **órgano** es una estructura compuesta de dos o más tipos de tejido que desempeña una función específica en el cuerpo; en este *nivel orgánico* ya son posibles algunas funciones extremadamente complejas. Por ejemplo: el intestino delgado, que realiza la digestión y absorbe los alimentos, se compone de los cuatro tipos de tejidos. Un **sistema orgánico** es un grupo de órganos que funciona de forma conjunta para alcanzar un objetivo común. Por ejemplo, el aparato digestivo incluye el esófago, el estómago y los intestinos grueso y delgado, por nombrar algunos de sus órganos, cada uno de los cuales desempeña su propia función. Mediante la colaboración, todos ellos mantienen los alimentos en movimiento en el aparato digestivo, de forma que se descompongan correctamente y se absorban en la sangre, proporcionando la energía que necesitan las células de todo el cuerpo.

En total, nuestro cuerpo u **organismo,** el nivel más elevado de organización estructural, se compone de once sistemas, cuyos principales órganos se muestran en la Figura 1.2, con imágenes que puedes consultar durante la lectura de las descripciones de los sistemas que aparecen a continuación.

Visión general de los sistemas de órganos

Sistema tegumentario

El **sistema tegumentario** es la cobertura externa del cuerpo, es decir, la piel. Su función es aislar el cuerpo y proteger los tejidos más profundos de las lesiones, además de excretar sales y urea en el sudor, y contribuir a la regulación de la temperatura corporal. La piel dispone de receptores de temperatura, presión y dolor que nos alertan a lo que sucede en la superficie corporal.

Sistema óseo

El **sistema óseo** se compone de huesos, cartílagos, ligamentos y articulaciones. Sirve de soporte para el cuerpo y le proporciona un marco que utilizan los músculos esqueléticos para realizar el movimiento. Además, desempeña una función protectora (como en el caso del cráneo, que rodea y protege el cerebro); sus cavidades son el lugar donde se produce la *hematopoyesis* o formación de células sanguíneas y su sustancia dura sirve como almacén de minerales.

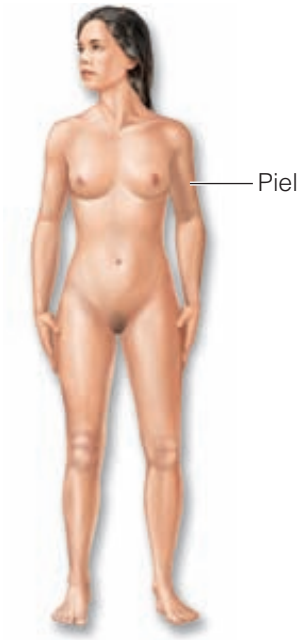
Sistema muscular

Los músculos del cuerpo sólo tienen una función: *contraerse*, acortarse. Cuando esto ocurre, se produce el movimiento y, por ello, los músculos pueden considerarse como las "máquinas" del cuerpo, cuya movilidad general refleja la actividad de los *músculos esqueléticos*, los músculos grandes y carnosos que se fijan a los huesos. Su contracción nos permite permanecer erguidos, caminar, saltar, agarrar, lanzar una pelota o sonreír. Los músculos esqueléticos forman el **sistema muscular,** diferente de los músculos del corazón y de otros órganos huecos cuya función es el movimiento de líquidos (sangre, orina) u otras sustancias (como los alimentos) siguiendo una ruta definida del cuerpo.

Sistema nervioso

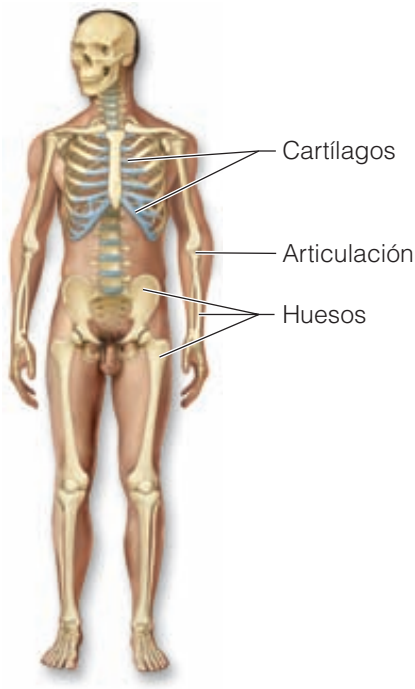
El **sistema nervioso** es el sistema de control de actuación rápida del cuerpo, que se compone de cerebro, médula espinal, nervios y receptores sensoriales. El cuerpo debe ser capaz de responder a irritantes o estímulos tanto externos (luz, sonido o cambios de temperatura) como internos (hipoxia, estiramiento de algún tejido). Los receptores sensoriales detectan estos cambios y envían mensajes (mediante señales eléctricas denominadas *impulsos nerviosos*) al sistema nervioso central (cerebro y médula espinal) de forma que permanezca constantemente informado de lo que ocurre. A continuación, el sistema nervioso central evalúa esta información y responde activando los efectores corporales correspondientes (músculos o glándulas).

FIGURA 1.2 Los sistemas orgánicos del cuerpo. Las ilustraciones muestran los componentes estructurales de cada sistema de órganos. Bajo cada ilustración se enumeran las principales funciones de dichos sistemas.



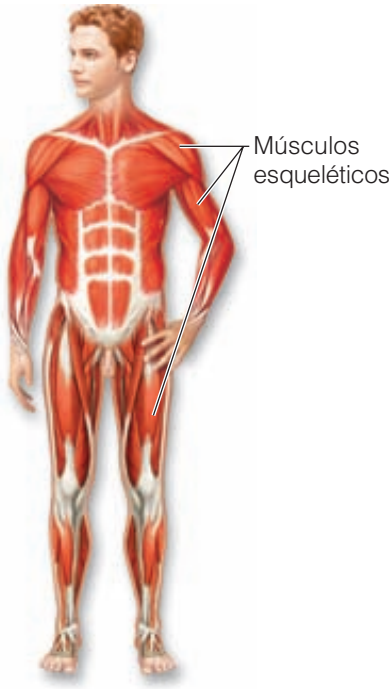
(a) Sistema tegumentario

Forma la cubierta exterior del cuerpo; protege de las lesiones los tejidos más profundos; sintetiza la vitamina D; en él se encuentran los receptores cutáneos (del dolor, la presión, etc.) y las glándulas sebáceas y sudoríparas.



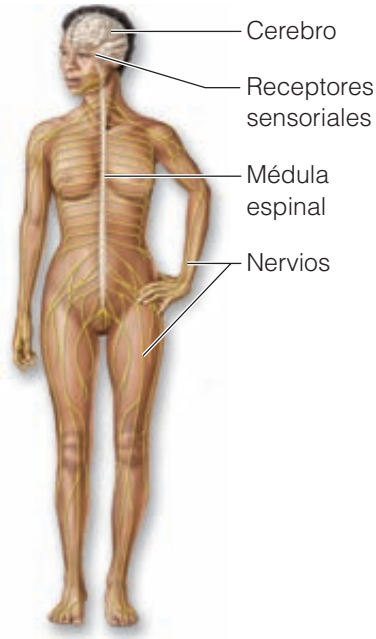
(b) Sistema esquelético

Protege y soporta los órganos del cuerpo; proporciona un marco que utilizan los músculos para realizar el movimiento; las células sanguíneas se forman en el interior de los huesos; almacena minerales.



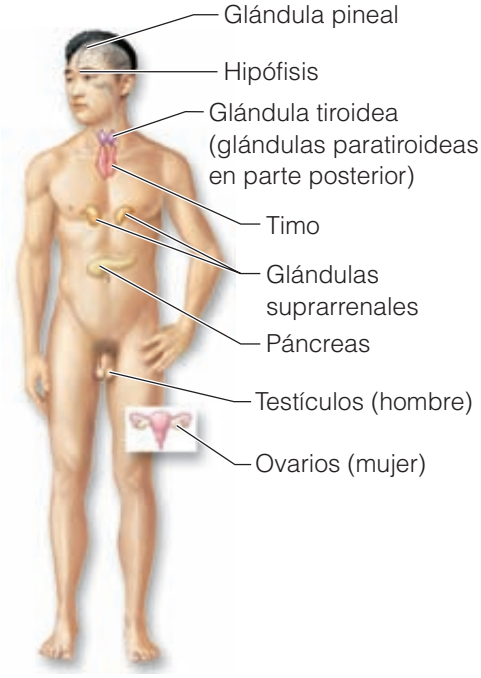
(c) Sistema muscular

Permite la manipulación del entorno, la locomoción y las expresiones faciales; mantiene la postura; produce calor.



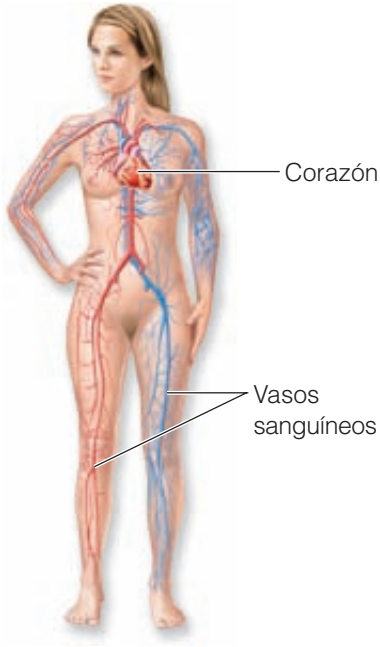
(d) Sistema nervioso

Sistema de control de actuación rápida del cuerpo; reacciona a los cambios internos y externos activando los músculos y las glándulas correspondientes.



(e) Sistema endocrino

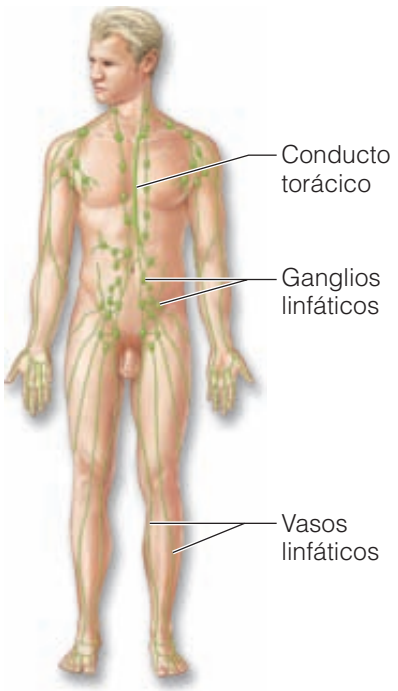
Las glándulas secretan hormonas que regulan procesos celulares tales como el crecimiento, la reproducción y el uso de nutrientes (metabolismo).



(f) Sistema cardiovascular

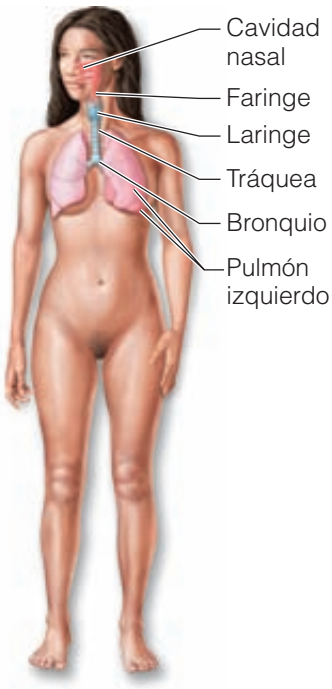
Los vasos sanguíneos transportan la sangre, que lleva oxígeno, dióxido de carbono, nutrientes, desechos, etc.; el corazón bombea la sangre.

(Continúa en la página 6)



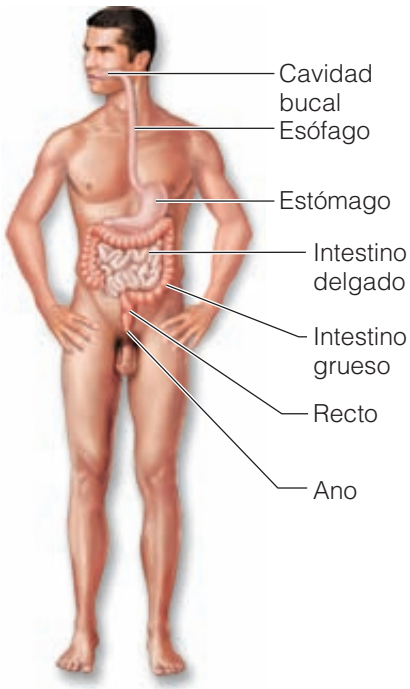
(g) Sistema linfático

Recoge el líquido que sale de los vasos sanguíneos y lo devuelve a la sangre; elimina los desechos en la circulación linfática; aloja los leucocitos del sistema inmunitario.



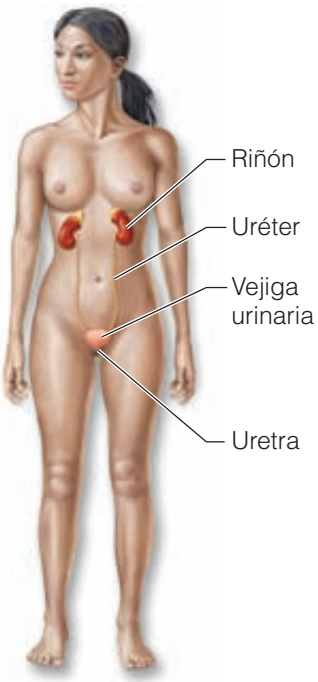
(h) Sistema respiratorio

Proporciona un suministro constante de oxígeno a la sangre y elimina el dióxido de carbono; los intercambios gaseosos se realizan a través de las paredes de los alvéolos de los pulmones.



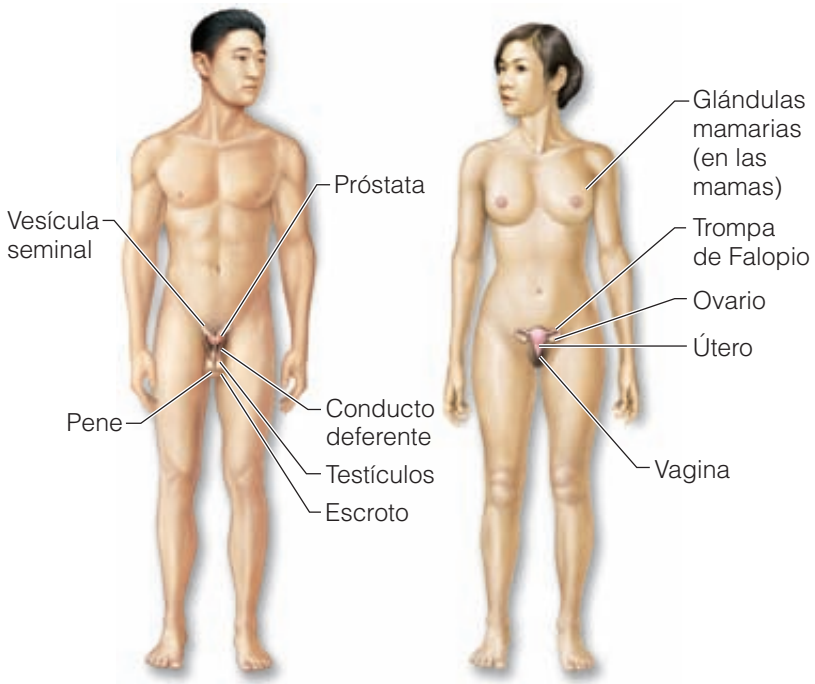
(i) Sistema digestivo

Descompone los alimentos en unidades que pueden absorberse en la sangre para su distribución a las células del cuerpo; las partes indigeribles de los alimentos se eliminan en las heces.



(j) Sistema urinario

Elimina del cuerpo los desechos nitrogenados; regula el equilibrio hídrico, de electrolitos y ácido-base de la sangre.



(k) Sistema reproductor masculino (l) Sistema reproductor femenino

La función de los sistemas reproductores es la producción de descendencia. Los testículos producen esperma y testosterona; los conductos y las glándulas contribuyen a la transferencia de esperma viable al conducto reproductor femenino. Los ovarios producen óvulos y estrógenos; las estructuras restantes funcionan como lugares de fertilización y desarrollo del feto. Las glándulas mamarias de las mamas femeninas producen leche para alimentar al neonato.

FIGURA 1.2 ***(continuación)*** **Los sistemas orgánicos del cuerpo.**

Sistema endocrino

Al igual que el sistema nervioso, el **sistema endocrino** controla las actividades corporales, pero lo hace con mucha más lentitud. Sus glándulas producen productos químicos denominados *hormonas*, que se liberan a la sangre para que alcancen órganos relativamente alejados.

Las glándulas endocrinas incluyen la hipófisis, las glándulas tiroidea y paratiroideas, las glándulas suprarrenales, el timo, el páncreas, la glándula pineal, los ovarios (en mujeres) y los testículos (en varones). Las glándulas endocrinas no están conectadas anatómicamente como lo hacen otras partes de los sistemas de órganos, pero coinciden en que todas ellas secretan hormonas que regulan otras estructuras. Las funciones corporales que controlan las hormonas son muchas y variadas, e implican a todas las células del cuerpo; entre ellas se cuentan, al menos en parte, el crecimiento, la reproducción y el uso que las células hacen de los alimentos.

Sistema cardiovascular

Los órganos principales del **sistema cardiovascular** son el corazón y los vasos sanguíneos, que proporcionan oxígeno, nutrientes, hormonas y otras sustancias disueltas en la sangre a las células tisulares donde se realizan los intercambios.

Los leucocitos y los productos químicos presentes en la sangre contribuyen a la protección del cuerpo contra invasores extraños como bacterias, toxinas y células tumorales.

El corazón realiza las funciones de bomba sanguínea, impulsando la sangre desde sus cámaras hasta los vasos sanguíneos para que lleguen a todos los tejidos del cuerpo.

Sistema linfático

El **sistema linfático** complementa al sistema cardiovascular. Sus órganos incluyen los vasos y ganglios linfáticos, además de otros órganos linfoides como el bazo y las amígdalas.

Los vasos linfáticos devuelven a los vasos sanguíneos el líquido filtrado de la sangre para que ésta permanezca en continua circulación por el cuerpo. Los ganglios linfáticos y otros órganos linfoides contribuyen a limpiar la sangre y contienen células que participan en la inmunidad.

Sistema respiratorio

La función del **sistema respiratorio** es mantener el suministro continuo de oxígeno y eliminar el dióxido de carbono del cuerpo.

El sistema respiratorio se compone de las fosas nasales, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones; estos últimos contienen los alvéolos, a través de cuyas paredes se realiza el intercambio de gases con la sangre.

Sistema digestivo

El **aparato digestivo** es, en esencia, un tubo que atraviesa el cuerpo desde la boca al ano. Sus órganos incluyen cavidad bucal (boca), esófago, estómago, intestino grueso, intestino delgado y recto.

Su función es descomponer los alimentos y llevar los productos a la sangre para que se repartan a las células de todo el cuerpo, mientras que los alimentos sin digerir continúan en las vías y abandonan el cuerpo por el ano en forma de heces.

Las actividades de descomposición comienzan en la boca y terminan en el intestino delgado; a partir de ese punto, la función principal del aparato digestivo es recuperar agua.

El hígado se considera parte del aparato digestivo porque la bilis que produce contribuye a la descomposición de las grasas; y el páncreas, que envía enzimas digestivas al intestino delgado, también forma parte del aparato digestivo desde el punto de vista funcional.

Sistema urinario

El cuerpo produce desechos derivados de sus funciones normales, que deben eliminarse. Un tipo de desecho, como la urea y el ácido úrico, contiene nitrógeno resultante de la descomposición de las proteínas y los ácidos nucleicos por las células del cuerpo. El **aparato urinario** elimina estos desechos de la sangre y los expulsa del cuerpo en forma de orina.

Este sistema, a menudo conocido como *aparato excretor*, se compone de los riñones, los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra. Otras funciones importantes del sistema urinario incluyen el mantenimiento del equilibrio corporal entre agua y sales (electrolitos) y la regulación del equilibrio ácido-base en la sangre.

Aparato reproductor

El **aparato reproductor** existe principalmente para producir descendencia.

El aparato reproductor masculino se compone de escroto, pene, glándulas accesorias, testículos y un sistema de conductos que lleva el esperma producido por los testículos al exterior del cuerpo. El sistema reproductor de la mujer se compone trompas de Falopio, vagina, ovarios para producir óvulos y útero, en cuyo interior se desarrolla el feto una vez se ha producido la fertilización.

MÁS DE CERCA

IMÁGENES MÉDICAS: ILUMINAR EL CUERPO

Las nuevas técnicas de escaneado están cambiando el mundo del diagnóstico médico, pues bombardean el cuerpo con energía para mostrar la estructura de los órganos internos y extraer información sobre el funcionamiento privado y, hasta el momento, secreto, de sus moléculas.

Hasta hace unos 50 años, las radiografías, mágicas pero borrosas, eran el único modo de poder ver un cuerpo vivo, visualizando las estructuras óseas y duras, y localizando las estructuras con una densidad anómala (tumores, nódulos de tuberculosis) en los pulmones.

Los años 50 del siglo pasado vieron nacer la medicina nuclear, que utiliza radioisótopos para explorar el cuerpo, y también las técnicas ultrasónicas; en la década de los 70 se introdujeron las técnicas CT, PET y MRI.

El dispositivo de obtención de imágenes más conocido es la *tomografía computarizada* (CT), antes conocida como *tomografía axial computarizada* o *CAT*), una versión refinada de los rayos X.

Un escáner CT confina su haz de rayos a un corte del cuerpo del grosor de un centavo y elimina la confusión derivada del solapamiento de estructuras en las imágenes obtenidas mediante rayos X tradicionales.

A medida que el paciente avanza por la máquina de CT circular, su tubo de rayos X gira en torno al cuerpo y los diferentes tejidos absorben diferentes cantidades de radiación, cuya información traduce el ordenador del dispositivo en una detallada imagen transversal de la región del cuerpo escaneada, según se muestra en la figura (a).

Los escaneados CT se realizan de forma casi inmediata para la evaluación de la mayoría de los problemas que afectan al cerebro y al abdomen, y su claridad ha eliminado las operaciones exploratorias.

Los escáneres CT ultrarrápidos han desarrollado una técnica denominada *reconstrucción espacial dinámica (DSR)* que ofrece imágenes tridimensionales de los órganos del cuerpo desde cualquier ángulo.

> *"Las nuevas técnicas de imagen están cambiando el mundo del diagnóstico médico."*

También permite la observación de sus movimientos y de los cambios en sus volúmenes internos a velocidad normal, a cámara lenta y en un momento determinado: su mayor logro ha sido la visualización de los latidos del corazón y del flujo sanguíneo, lo que permite al personal médico evaluar los defectos cardiacos, la constricción de los vasos sanguíneos y el estado de los injertos de derivación coronaria *(bypass)*.

Otra técnica radiográfica asistida por ordenador es la *angiografía de sustracción digital (DSA)* (*angiografía* = imagen de los vasos sanguíneos), se trata de una técnica que ofrece una visión clara de los vasos sanguíneos enfermos, según muestra la figura (b). Para ello, se toman radiografías tradicionales antes y después de la inyección de un medio de contraste en una arteria. A continuación, el ordenador elimina la imagen anterior de la imagen obtenida después de la inyección y elimina todo rastro de las estructuras corporales que pudieran oscurecer la imagen del vaso.

A menudo se utiliza la técnica DSA para identificar la presencia de bloqueos en las arterias que dan suministro a la pared cardíaca y al cerebro, según se muestra en la figura (b).

Al igual que los rayos X dieron lugar a nuevas tecnologías, la medicina nuclear resultó en la *tomografía por emisión de positrones (PET)*, una técnica excelente para la observación de los procesos metabólicos en la que se administra al paciente una inyección de radioisótopos de vida breve marcados para algunas moléculas biológicas (como la glucosa) y, a continuación, se le coloca en el escáner PET.

Cuando las células cerebrales más activas absorben los radioisótopos, producen rayos gamma de alta energía, cuya emisión es analizada por el ordenador para producir una imagen de la actividad bioquímica del cerebro en colores vívidos. El mayor valor clínico de la PET ha sido la posibilidad de comprender mejor la actividad cerebral en personas afectadas por enfermedades mentales, Alzheimer y epilepsia, puesto que uno de sus usos más emocionantes es determinar qué áreas del cerebro sano se activan más durante algunas tareas (hablar y escuchar música, entre otras).

La *ecografía,* o *ultrasonografía*, ofrece también ventajas diferenciadas en comparación con los enfoques que se han descrito hasta el momento: el equipo es económico y emplea ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonidos) como fuente de energía que, a diferencia de las formas de radiación ionizan-

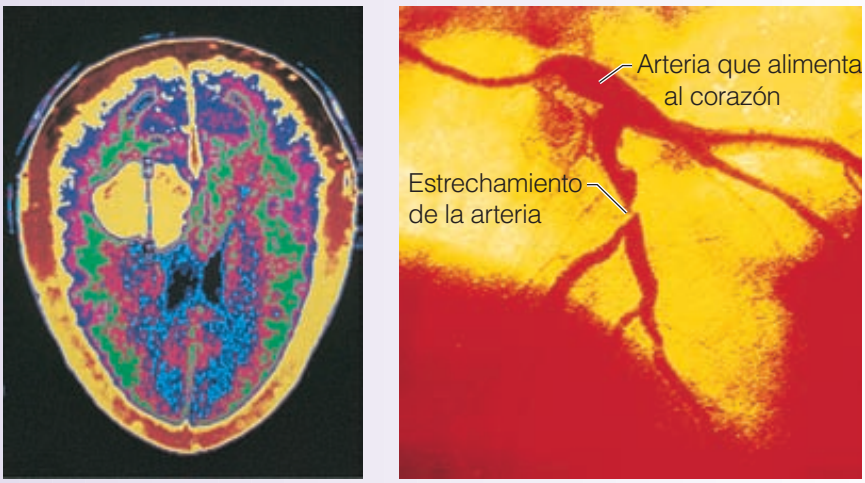
tes, no producen (que sepamos) efectos dañinos en los tejidos vivos. El cuerpo se sondea con pulsos de ondas sonoras que causan ecos al reflejarse y dispersarse por los tejidos corporales y un ordenador analiza esos ecos para elaborar las imágenes visuales de los órganos corporales de interés. Gracias a su inocuidad, la ecografía es la técnica de obtención de imágenes de elección en ginecología, por ejemplo, para determinar la edad y posición fetales y la colocación de la placenta.

Puesto que las ondas sonoras tienen una potencia de penetración muy baja y se dispersan con rapidez en el aire, la ecografía apenas tiene valor para visualizar las estructuras llenas de aire (como los pulmones) o las que están rodeadas de hueso, como pueden ser el cerebro y la médula espinal.

Otra técnica que depende de la radiación no ionizante es la obtención de *imágenes mediante resonancia magnética (MRI)*, que utiliza campos magnéticos hasta 60.000 veces más fuertes que el de la tierra para obtener información sobre los tejidos del cuerpo.

El paciente permanece tendido en una sala dentro de un gran imán donde las moléculas de hidrógeno giran como peonzas en el campo magnético y su energía se ve multiplicada por las ondas de radio. Cuando las ondas de radio se apagan, la energía se libera y se traduce en una imagen visual en el ordenador.

La MRI es muy popular porque ofrece muchas posibilidades que se encuentran fuera del alcance de la CT: puesto que las estructuras densas no se muestran en las MRI, los huesos del cráneo o de la columna vertebral no impiden la visión de *tejidos blandos* como el cerebro y resulta especialmente útil para la detección de enfermedades degenerativas de diferentes tipos. Las placas de esclerosis múltiple, por ejemplo, no aparecen claras en las



(a) **(b)**

Dos métodos diferentes para iluminar el cuerpo. (a) Imagen TC que muestra un tumor cerebral (el área ovalada en la parte derecha del cerebro). **(b)** Imagen de las arterias que proporcionan sangre al corazón obtenida mediante ASD.

CT, pero sí lo hacen muy bien en las MRI. Los estudios mediante MRI también se utilizan para investigar el desarrollo cerebral y los cambios en el comportamiento con el crecimiento o la experiencia.

Una variación más reciente de la RM se denomina *espectroscopia mediante resonancia magnética (MRS)*, que elabora un mapa de la distribución de elementos diferentes al hidrógeno para desvelar más información sobre los cambios en la química corporal derivados de la enfermedad. En 1992, la tecnología de MRI dio un gran paso hacia delante con el desarrollo de la *MRI funcional*, que permite el seguimiento del flujo sanguíneo en el cerebro en tiempo real. Hasta entonces, la correspondencia de los pensamientos, acciones y las enfermedades con la actividad cerebral había sido dominio exclusivo de la PET, pero, ya que la MRI funcional no necesita inyecciones de elementos rastreadores, ofrece una alternativa quizá más deseable. A pesar de sus ventajas, los potentes imanes de la MRI presentan algunos problemas espinosos: por ejemplo, pueden "absorber" objetos de metal, como marcapasos y empastes sueltos, por el cuerpo. Además, no hay ninguna prueba convincente de que tales campos magnéticos estén exentos de riesgo.

Como puede apreciarse, la ciencia médica moderna dispone de gran número de herramientas notables. La CT y la PET se utilizan en un 25 por ciento de todas las imágenes; la ecografía, gracias a su inocuidad y a su bajo coste, es la nueva técnica más extendida y las radiografías tradicionales continúan siendo el caballo de tiro de las técnicas de obtención de imágenes diagnósticas, pues constituyen más de la mitad de las imágenes obtenidas en la actualidad.

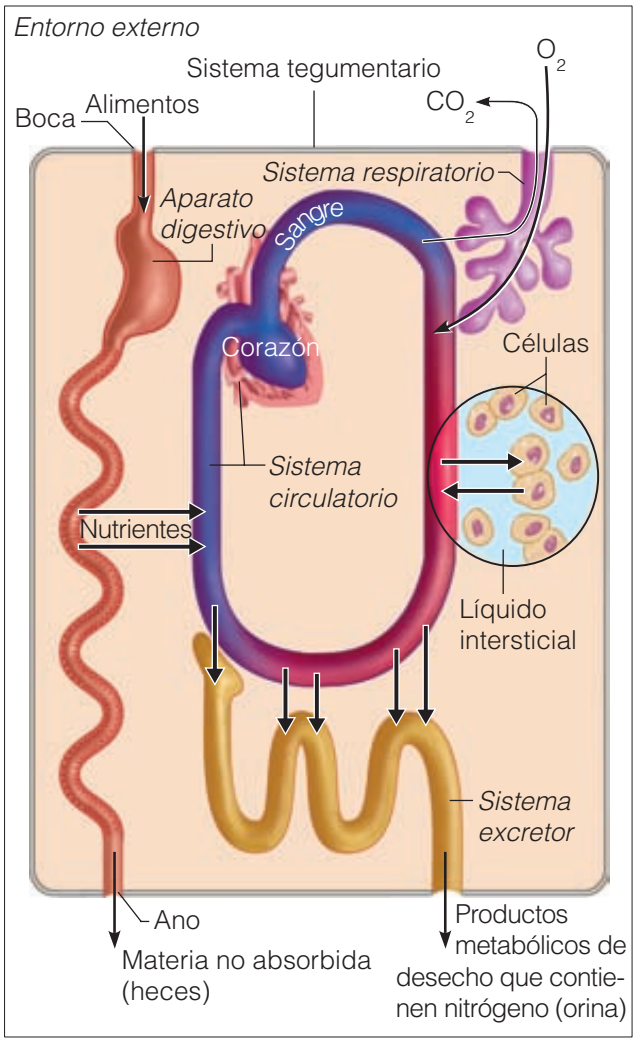


FIGURA 1.3 Ejemplos de interrelación entre los aparatos o sistemas de órganos del cuerpo. El sistema tegumentario protege el cuerpo como un todo del entorno externo. Los aparatos digestivo y respiratorio, en contacto con el entorno externo, absorben nutrientes y oxígeno, respectivamente, que a continuación la sangre distribuye a todas las células del cuerpo. Los aparatos urinario y respiratorio eliminan los desechos metabólicos del cuerpo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

2. ¿A qué nivel de organización estructural se encuentra el estómago? ¿A qué nivel se encuentra una molécula de glucosa?
3. ¿Qué aparato incluye la tráquea, los pulmones, la cavidad nasal y los bronquios?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Mantenimiento de la vida

Funciones vitales necesarias

Ahora que hemos presentado los niveles estructurales de los que se compone el cuerpo humano, se formula una pregunta de forma lógica: ¿qué hace este cuerpo humano extremadamente organizado? Como todos los animales complejos, los seres humanos mantienen sus límites, se mueven, reaccionan a los cambios de su entorno, ingieren y digieren nutrientes, metabolizan, eliminan sus desechos, se reproducen y crecen. En esta sección comentaremos cada una de estas funciones necesarias para la vida, que se ampliarán en capítulos posteriores.

Los sistemas de órganos no funcionan de manera aislada, sino que colaboran para mantener el bienestar de todo el cuerpo. Puesto que este libro enfatizará este tema en toda su extensión, merece la pena identificar los sistemas de órganos más importantes que contribuyen a cada una de las funciones vitales necesarias (Figura 1.3). Además, a medida que se avanza en esta sección, podemos volver a consultar las descripciones más detalladas de los sistemas y aparatos orgánicos que se incluyen en las páginas 4 a 7, y en la Figura 1.2.

Mantenimiento de los límites

Todos los organismos vivos deben poder mantener sus límites, de forma que lo que se encuentra en su interior se diferencie de su exterior.

Cada célula del cuerpo humano está rodeada de una membrana externa que limita sus contenidos y permite la entrada de las sustancias necesarias al tiempo que, en general, impide la entrada de sustancias posiblemente dañinas o innecesarias. El cuerpo en su conjunto también está rodeado por el sistema tegumentario o la piel, que protege los órganos internos contra el secado (pues éste resultaría mortal), las bacterias y los efectos dañinos del calor, la luz solar y un número increíblemente elevado de sustancias químicas en el entorno exterior.

Movimiento

El **movimiento** incluye todas las actividades impulsadas por el sistema muscular, como el traslado de un lugar a otro (caminando, nadando o de otra manera) y la manipulación del entorno externo con los dedos, tirando de los huesos del sistema esquelético.

También se lleva a cabo movimiento cuando sustancias tales como la sangre, los alimentos y la orina, por ejemplo, avanzan a través de los órganos internos

de los aparatos cardiovascular, digestivo y urinario, respectivamente.

Reactividad

La **reactividad,** o **irritabilidad,** es la habilidad de sentir los cambios (estímulos) en el entorno y reaccionar a ellos. Por ejemplo: si nos cortamos con un cristal roto, alejaremos involuntariamente la mano del estímulo doloroso (el cristal roto). No hay que pensar en ello, sucede sin más. De igual modo, cuando la cantidad de dióxido de carbono se eleva hasta alcanzar concentraciones elevadas peligrosas, la velocidad de respiración aumenta para expulsar el exceso de dicho gas.

La reactividad o irritabilidad es la capacidad de sentir los cambios (estímulos) en el entorno y reaccionar a ellos. Por ejemplo: si nos cortamos con un cristal roto, alejaremos involuntariamente la mano del estímulo doloroso (el cristal roto). No hay que pensar en ello: sucede sin más. De igual modo, cuando la cantidad de dióxido de carbono se eleva hasta alcanzar concentraciones elevadas peligrosas, la velocidad de respiración aumenta para expulsar el exceso de dicho gas.

Digestión

La **digestión** es el proceso de triturar y descomponer los alimentos ingeridos hasta que la sangre pueda absorberlos, y distribuirlos por el sistema cardiovascular a todas las células del cuerpo. En un organismo unicelular sencillo, como una ameba, la célula misma es la "máquina de la digestión", pero en el complejo cuerpo humano multicelular, el aparato digestivo realiza esta función para todo el cuerpo.

Metabolismo

El **metabolismo** es un término amplio que hace referencia a todas las reacciones químicas que tienen lugar en las células de nuestro cuerpo, incluyendo la descomposición de sustancias complejas en sus componentes más sencillos, la formación de estructuras más grandes a partir de las pequeñas, y el uso de nutrientes y oxígeno para producir moléculas de ademosín trifosfato (ATP) que nutren las células para sus actividades. El metabolismo necesita que los aparatos digestivo y respiratorio proporcionen a la sangre nutrientes y oxígeno, y que el aparato cardiovascular distribuya estas sustancias por todo el cuerpo, procesos regulados, en general, mediante hormonas secretadas por las glándulas del sistema endocrino.

Excreción

La **excreción** es el proceso de eliminación de los *excrementos* o desechos del cuerpo, para que continúe funcionando correctamente, sin las sustancias inútiles producidas durante la digestión y el metabolismo. En la excreción participan varios aparatos orgánicos, como el aparato digestivo, que elimina los residuos alimentarios no digeribles que permanecen en las heces y el aparato urinario, que elimina a través de la orina los desechos metabólicos nitrogenados.

Reproducción

La **reproducción,** la producción de descendencia, puede producirse a nivel celular orgánico. En la reproducción celular, la célula original se divide y produce dos células hijas idénticas que pueden entonces utilizarse para el crecimiento o la reparación del cuerpo. La reproducción del organismo humano, o la elaboración de una persona completamente nueva, es tarea de los órganos del aparato reproductor, que produce esperma y óvulos. Cuando un espermatozoide se une a un óvulo, se forma un óvulo fertilizado que a continuación se desarrolla hasta convertirse en un bebé en el cuerpo de la madre. La función del aparato reproductor está regulada con gran precisión por las hormonas del sistema endocrino.

Crecimiento

El **crecimiento** es un aumento de tamaño que suele conseguirse mediante un aumento del número de células, para lo cual la velocidad de las actividades de construcción celular debe superar a la de las actividades de destrucción de las células.

Necesidades de supervivencia

El objetivo de casi todos los aparatos y sistemas del cuerpo es mantener la vida, pero ésta es extraordinariamente frágil y exige factores adicionales, que pueden denominarse *necesidades de supervivencia* e incluyen nutrientes (alimentos), oxígeno, agua y una temperatura y una presión atmosférica adecuadas.

Los *nutrientes*, que el cuerpo obtiene a través de los alimentos, contienen los productos químicos utilizados para la obtención de energía y la formación de células. Los hidratos de carbono son el alimento que mayor energía proporciona a las células del cuerpo; las proteínas y, en menor medida, las grasas, son esenciales para formar las estructuras celulares, y las grasas también sirven de almohadillado para los órganos del cuerpo y como combustible de reserva. Además, se requieren minerales y vitaminas para las reacciones químicas que tienen lugar en las células y para el transporte de oxígeno en la sangre.

Todos los nutrientes del mundo resultan inútiles si no hay *oxígeno* disponible, puesto que las reacciones químicas que liberan energía de los alimentos requieren oxígeno y las células humanas no sobreviven más de escasos minutos sin él. Aproximadamente un 20 por ciento del aire que respiramos es oxígeno, del que disponen la sangre y las células del cuerpo gracias a los esfuerzos conjuntos de los aparatos respiratorio y cardiovascular.

Entre un 60 y un 80 por ciento del peso corporal es *agua*, la sustancia química individual más abundante en el cuerpo, que ofrece la base líquida para las secreciones y excreciones corporales. El agua se obtiene principalmente de los alimentos o líquidos ingeridos y se elimina del cuerpo mediante la evaporación de los pulmones y la piel, y en las excreciones del cuerpo.

Para una buena salud, la *temperatura corporal* debe mantenerse aproximadamente a 37 °C (98 °F). Si la temperatura corporal desciende por debajo de este punto, las reacciones metabólicas se ralentizan y, finalmente, se detienen; si es demasiado elevada, la velocidad de las reacciones químicas aumenta demasiado y las proteínas del cuerpo comienzan a descomponerse. En ambos casos se produce la muerte. La mayoría del calor corporal se genera mediante la actividad de los músculos esqueléticos.

La fuerza ejercida sobre la superficie del cuerpo por el peso del aire recibe el nombre de *presión atmosférica*, de la que dependen la respiración y el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones. A altitudes elevadas, donde el aire es más tenue y la presión atmosférica es inferior, el intercambio gaseoso puede ser demasiado escaso para mantener el metabolismo celular.

La sola presencia de estos factores de supervivencia no es suficiente para el mantenimiento de la vida: también deben estar presentes en cantidades adecuadas, pues tan dañinos son los excesos como las carencias. Por ejemplo, los alimentos ingeridos deben ser de gran calidad y tomarse en las cantidades correctas; en caso contrario, es probable sufrir una enfermedad nutricional, como obesidad o muerte por inanición.

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. Además de metabolizar, crecer, digerir alimentos y excretar los desechos, ¿qué otras funciones debe llevar a cabo un organismo para poder sobrevivir?
5. El oxígeno es necesario para la supervivencia. ¿Por qué resulta tan importante?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Homeostasis

Cuando se piensa detenidamente sobre el hecho de que el cuerpo se compone de miles de billones de células en actividad casi constante y de que una proporción realmente elevada de dicha actividad se realiza sin errores, empieza a apreciarse la maravilla que es, en realidad, el cuerpo humano. La palabra **homeostasis** describe la capacidad del cuerpo para mantener unas condiciones internas relativamente estables a pesar del cambio permanente en el mundo exterior. Aunque la traducción literal de *homeostasis* es "inmutable" (*homeo* = lo mismo; *stasia* = quieto), el término no indica realmente un estado inmóvil, sino un estado de equilibrio dinámico o un equilibrio en el cual las condiciones internas cambian y varían, pero siempre entre límites relativamente estrechos.

En general, el cuerpo mantiene la homeostasis cuando se cubren sus necesidades de forma adecuada y funciona sin problemas. El mantenimiento de un entorno interno constante depende de virtualmente todos los aparatos: las concentraciones séricas adecuadas de nutrientes vitales deben ser continuas, la actividad miocárdica y la tensión arterial deben controlarse y ajustarse de forma constante, de forma que la sangre reciba el impulso adecuado para llegar a todos los tejidos corporales, no debe permitirse la acumulación de desechos y la temperatura corporal debe controlarse con precisión.

Mecanismos de control homeostático

La comunicación en el interior del cuerpo resulta esencial para la homeostasis y se consigue principalmente mediante los sistemas nervioso y endocrino, que utilizan señales eléctricas emitidas por los nervios o por las hormonas en sangre, respectivamente, como portadoras de información. Los detalles sobre el modo en que estos dos sistemas reguladores operan constituye la materia de los capítulos posteriores, pero esta sección explica las características básicas de los sistemas de control nervioso y hormonal.

Independientemente del factor o acontecimiento que se regula (la *variable*), todos los mecanismos homeostáticos de control se componen de al menos tres componentes (Figura 1.4). El primer componente es un **receptor,** un tipo de sensor que controla y reacciona a los cambios en el entorno, los *estímulos*, y envía información al segundo elemento, el *centro de control*, mediante la *vía aferente*. (Puede resultar útil, para recordar este dato, el hecho de que la información que viaja por la ruta *aferente* se *acerca* al centro de control.)

El **centro de control,** que determina el nivel (punto fijado) en el cual debe mantenerse una variable, analiza la información que recibe y, a continuación, determina la repuesta o el curso de acción apropiados.

El tercer componte es el **efector,** que ofrece los medios para la respuesta del centro de control al estímulo y que recibe la información del centro mediante la *vía eferente*. (La información *eferente* se *escapa* del centro de control.) Los resultados de la respuesta sirven

P *Si este sistema de control regulara la temperatura ambiente de una habitación ¿qué aparato sería el efector?*

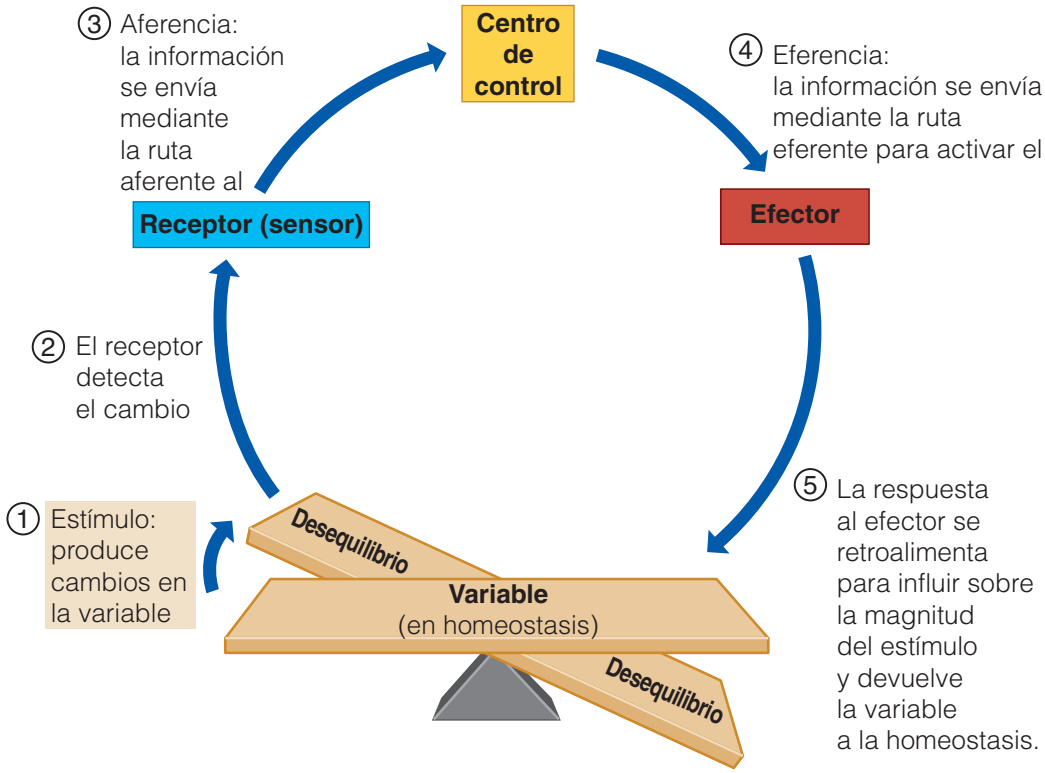


FIGURA 1.4 Elementos de un sistema de control homeostático. La comunicación entre el receptor, el centro de control y el efector resulta esencial para el buen funcionamiento del sistema.

a su vez de *retroalimentación* para influir sobre el estímulo, bien deprimiéndolo (retroalimentación negativa), de forma que todo el mecanismo de control se desactiva, o impulsándolo (retroalimentación positiva), de forma que la reacción continúa a una velocidad incluso superior.

La mayoría de los mecanismos de control homeostático son **mecanismos de retroalimentación negativa,** en los que el efecto neto de la respuesta al estímulo es la eliminación del estímulo original o la reducción de su intensidad. Un buen ejemplo de un sistema de retroalimentación negativa no biológico es un sistema de calefacción doméstico conectado a un termostato, que contiene tanto el receptor como el centro de control. Si el termostato se fija en 20°C (68°F), el sistema calefactor (efector) se activará cuando la temperatura de la casa caiga por debajo de ese valor. A medida que el horno produce calor, el aire se calienta y, cuando la temperatura alcanza o supera los 20 °C, el termostato envía una señal para apagar el horno. El "termostato corporal", situado en una parte del cerebro denominada *hipotálamo*, opera de forma similar para regular la temperatura del cuerpo, al igual que los mecanismos que regulan la frecuencia cardiaca, la tensión arterial, la frecuencia respiratoria y las concentraciones séricas de glucosa, oxígeno, dióxido de carbono y minerales.

Los **mecanismos de retroalimentación positiva** son escasos en el cuerpo porque tienden a aumentar el trastorno original (el estímulo) y *alejar* la variable de su valor original. Estos mecanismos suelen controlar acontecimientos poco frecuentes que se producen de forma explosiva y no exigen un ajuste continuo, como la coagulación sanguínea o el parto.

R *La caldera de gasóleo que genera calor*

orientación PROFESIONAL

HIGIENISTA DENTAL

Los higienistas dentales necesitan formación detallada en anatomía y fisiología humanas para cuidar adecuadamente de sus pacientes.

¿Te sientes nervioso cuando vas a hacer una limpieza bucal? Muchas personas sí. Pero es probable que te sientas mejor después de saber la buena formación que tienen los higienistas dentales, profesionales certificados de salud bucal que ofrecen servicios educativos, clínicos y terapéuticos, como Robin Mendica, que lleva quince años trabajando

como higienista y es licenciado en higiene dental. Su formación incluyó anatomía y fisiología del cuerpo completo, además de clases especializadas centradas en la anatomía de la cabeza y el cuello. "Aprendimos cada nervio y vaso sanguíneo situado por encima de los hombros, porque los higienistas dentales pueden administrar inyecciones de anestesia para una limpieza a fondo o de las raíces dentales", recuerda. "Debemos saber dónde se encuentran los nervios para reducir el dolor al mínimo y evitar lesiones que podrían derivar en parálisis facial."

Cuando un paciente acude a la consulta, Mendica realiza una exploración preliminar: "Miro sus radiografías dentales y sus denticiones para recordarme cualquier problema o preocupación que puedan tener. Entonces examino el interior de la boca y reviso la lengua, los dientes, las coronas y los empastes para comprobar que no hay caries". A continuación, Mendica pule los dientes del paciente, eliminando manchas, sarro y placa dental (una acumulación blanda y pegajosa de bacterias que lleva a problemas periodontales) para preparar la exploración del dentista.

Mendica desempeña una importante función avisando al dentista de los síntomas de problemas dentales y otros problemas de la salud. "Los problemas dentales sin tratar pueden derivan en problemas en otras partes del cuerpo, como los abscesos dentales que se extienden a los senos y causan infecciones graves. Las personas que han perdido muchos dientes no pueden masticar adecuadamente y esto puede producir problemas digestivos. En las clases también aprendimos a reconocer nódulos, lesiones precancerosas y carcinomas bucales."

¿Que prefiere Mendica de su trabajo? "Me encanta tratar con la gente. Cada paciente es diferente y me encanta formarles sobre una buena higiene bucal y motivarles para que cuiden sus dientes." Habla de muchos pacientes a los que ha ayudado, como el hombre que intentó devolver un molar podrido a la encía utilizando chicle como pegamento o la infeliz que intentó blanquear con esmalte de uñas blanco un puente manchado. "Creo que la educación del paciente constituye una parte importante de mi labor, porque soy una gran defensora de las revisiones dentales periódicas y realizar una limpieza dental cada seis meses es una inversión en salud para toda la vida."

La formación de un higienista dental suele durar entre dos y cuatro años después de la educación secundaria (o equivalente). Los programas de dos años ofrecen un diploma, certificado o un título de pregrado, mientras que los programas de cuatro años de duración ofrecen una diplomatura y hay licenciaturas disponibles para los estudiantes interesados en educación, investigación o administración.

Un programa de higiene dental acreditado exige formación clínica supervisada y cursos en anatomía, fisiología, química y microbiología. Los higienistas dentales

> *"Aprendimos cada nervio y vaso sanguíneo situado por encima de los hombros."*

deben tener licencia del estado en que practican, cuyos requisitos varían, pero suelen incluir la realización con éxito de un examen ante una junta médica regional o estatal.

Para más información, ponte en contacto con la *American Dental Hygienists Association* (ADHA), en la dirección:

444 N. Michigan Avenue
Suite 3400, Chicago, IL 60611
(312) 440-8900 or (800) 735-5121
http://www.adha.org

Para más información sobre esta carrera, pulse sobre el enlace *Focus on Careers* en www.anatomyandphysiology.com.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La homeostasis es tan importante que la mayoría de las enfermedades pueden considerarse resultado de su trastorno, un problema denominado **desequilibrio homeostático.** A medida que envejecemos, la eficiencia de los órganos de nuestro cuerpo se reduce y nuestras condiciones internas pierden estabilidad, por lo que aumenta el riesgo de enfermedades y se producen los cambios asociados con el envejecimiento.

Este libro incluye ejemplos de desequilibrios homeostáticos para mejorar tu comprensión de los mecanismos fisiológicos normales, son secciones precedidas por el símbolo para indicar que se describe un estado anómalo. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

6. Cuando decimos que el cuerpo muestra homeostasis, ¿queremos decir que las condiciones corporales son inmutables? Explica tu respuesta.
7. Cuando comenzamos a deshidratarnos, nos entra sed, lo cual nos mueve a beber líquidos. ¿Es la sensación de sed parte de un sistema de control de retroalimentación negativo o positivo? Defiende tu opción.

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

El lenguaje de la anatomía

El aprendizaje sobre el cuerpo resulta emocionante, pero nuestro interés disminuye en ocasiones cuando nos enfrentamos a la terminología de la anatomía y la fisiología.

Seamos realistas: no se puede abrir un libro de anatomía y fisiología y leerlo como si fuera una novela. Por desgracia, es inevitable sufrir confusiones si no se utiliza una terminología especializada. Por ejemplo, si mira una pelota, "superior" siempre indica el área sobre la parte de arriba del balón, y pueden utilizarse de forma coherente otros términos de dirección porque la pelota es una esfera y todos sus lados y superficies son iguales.

El cuerpo humano, por supuesto, presenta muchos salientes y curvas, por lo que la pregunta pasa a ser: "¿superior a qué?" Para evitar malentendidos, los expertos en anatomía utilizan un conjunto de términos que permiten la localización e identificación de las diferentes estructuras del cuerpo en apenas unos segundos y que se presentan y explican a continuación.

Posición anatómica

Para describir con exactitud las partes del cuerpo y su posición debemos disponer de un punto de referencia y utilizar términos de dirección. Para evitar la confusión, siempre se asume que el cuerpo se halla en una posición normalizada que se denomina **posición anatómica.** Es importante comprender esta posición porque la mayoría de la terminología corporal utilizada en este libro se refiere a esta posición corporal *independientemente* de la posición corporal en que se encuentre el cuerpo. Los diagramas frontales de la Figura 1.5 y la Tabla 1.1 (en la página 18) ilustran la posición anatómica en la cual, como puede verse, el cuerpo está erecto con los pies paralelos y los brazos a los lados con las palmas de las manos mirando hacia delante.

- Ponte de pie y colócate en la posición anatómica. Recuerda que es similar a la posición de "firmes" pero menos cómoda, porque las palmas se mantienen mirando hacia delante (con los pulgares alejados del cuerpo) en lugar de mantenerse de forma natural mirando hacia los muslos.

Términos de dirección

Los **términos de dirección** permiten al personal médico y a los especialistas en anatomía explicar dónde se encuentra una estructura corporal en relación con otra. Por ejemplo, podemos describir la relación entre las orejas y la nariz de manera informal, diciendo: "Las orejas se encuentran a cada lado de la cabeza, a derecha e izquierda de la nariz". En terminología anatómica, esto se resume en: "Las orejas están laterales en relación con la nariz". El uso de la terminología anatómica ahorra descripciones largas y, una vez aprendida, resulta mucho más clara. La Tabla 1.1 (pág. 18) define e ilustra los términos de dirección usados habitualmente. Aunque la mayoría de estos términos se utilizan también en la conversación diaria, hay que recordar que sus significados anatómicos son muy precisos.

Antes de continuar, dedica unos instantes a comprobar tu comprensión de lo que has leído en la Tabla 1.1 y describe la relación entre las siguientes partes del cuerpo utilizando los términos anatómicos correctos.

La muñeca se encuentra _____ en relación con la mano.

El esternón se encuentra _____ en relación con la columna vertebral.

El cerebro se encuentra _____ en relación con la médula espinal.

El pulgar se encuentra _____ en relación con los dedos. (Ten cuidado y recuerda la posición anatómica.)

Analiza esta figura durante unos instantes para responder a estas dos preguntas. ¿Dónde te dolería si tuvieras (1) un tirón en un músculo de la ingle o (2) roto un hueso en tu área olecraneal?

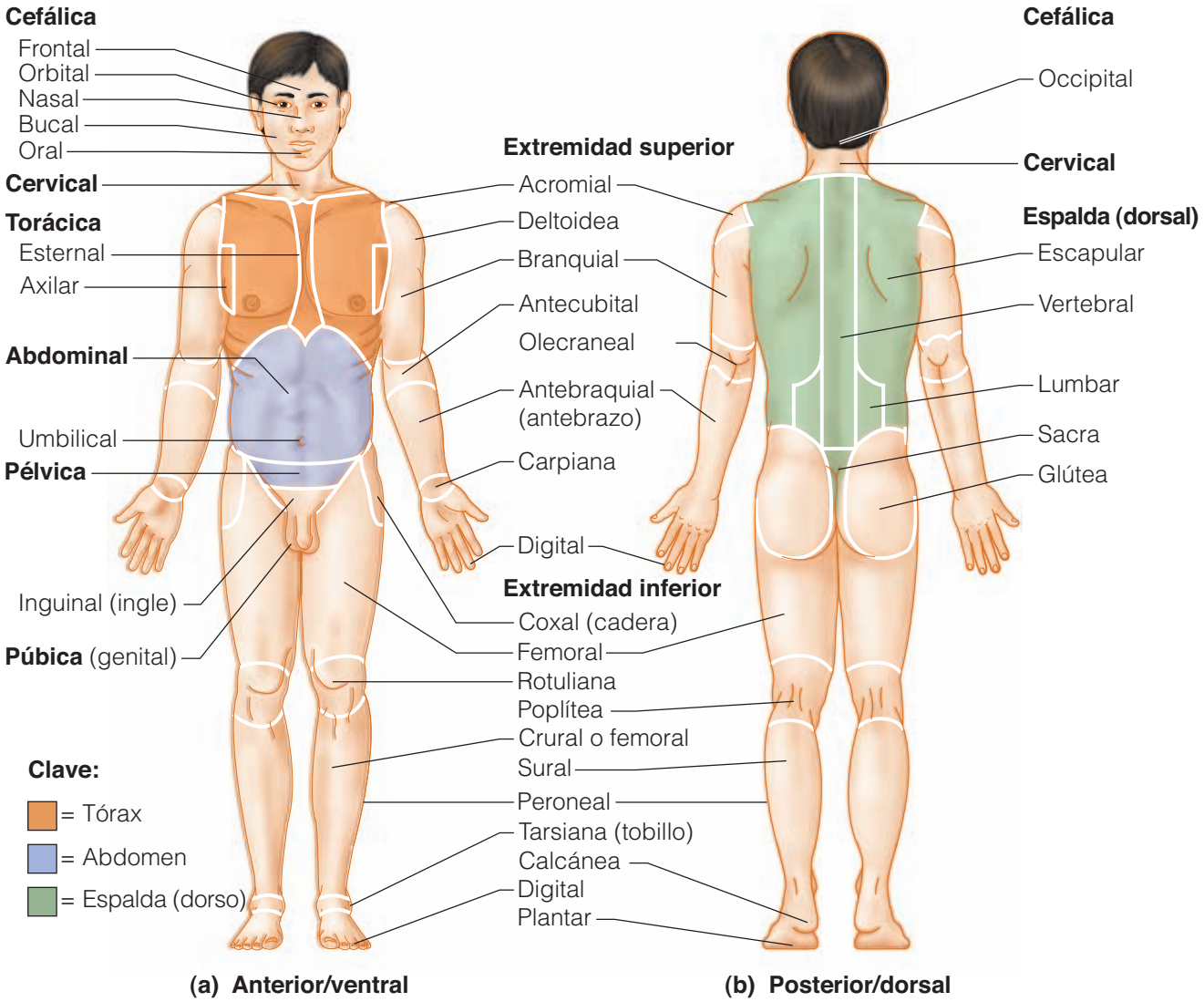


FIGURA 1.5 **Términos de regiones: nombres de las áreas corporales específicas.** En **(b)** los talones se encuentran ligeramente elevados para mostrar la superficie plantar inferior (planta) del pie.

Términos regionales

Hay gran número de hitos visibles en la superficie corporal. Una vez conocidos sus nombres anatómicos correctos, puedes ser específico al referirte a las diferentes regiones del cuerpo.

Hitos corporales anteriores

Observa la Figura 1.5 para encontrar las regiones del cuerpo que se indican a continuación. Una vez identificados todos los hitos corporales anteriores, tapa las etiquetas que describen las estructuras y, a continuación, vuelve a repasar la lista, señalando estas áreas en tu propio cuerpo.

- **abdominal:** parte anterior del tronco por debajo de las costillas
- **acromial:** punto del hombro
- **antebraquial:** antebrazo
- **antecubital:** superficie anterior del codo

(1) En el área inguinal. (2) En la zona posterior del codo.

- **axilar:** axila
- **braquial:** brazo
- **bucal:** boca
- **carpiana:** muñeca
- **cervical:** región del cuello
- **coxal:** cadera
- **crural:** pierna
- **deltoidea:** curva del hombro formada por el gran músculo deltoides
- **digital:** dedos de la mano y de los pies
- **esternal:** área del esternón
- **femoral:** muslo
- **frontal:** frente
- **inguinal:** área donde los muslos se unen al tronco; ingle
- **malar:** área de las mejillas
- **nasal:** área de la nariz
- **orbital:** área de los ojos
- **pélvica:** área por encima de la pelvis en la parte anterior
- **peroneal:** parte lateral de la pierna
- **púbica:** región genital
- **rotuliana:** rodilla anterior
- **tarsiana:** región del tobillo
- **torácica:** tórax
- **umbilical:** ombligo

Hitos corporales posteriores

Identifica las siguientes regiones del cuerpo en la Figura 1.5b y a continuación localízalas en tu cuerpo sin consultar el libro.

- **calcánea:** talón del pie
- **cefálica:** cabeza
- **escapular:** región de los omoplatos
- **femoral:** muslo
- **glútea:** nalgas
- **lumbar:** área de la espalda entre las costillas y la cadera
- **occipital:** superficie posterior de la cabeza
- **olecraneal:** superficie posterior del codo
- **poplítea:** área posterior de la rodilla
- **sacra:** área entre las caderas
- **sural:** superficie posterior de la parte inferior de la pierna; la pantorrilla
- **vertebral:** área de la espina dorsal

La región **plantar,** o la planta del pie, que se encuentra en realidad en la superficie inferior del cuerpo, se ilustra junto con los hitos corporales posteriores en la Figura 1.5b.

Planos y secciones del cuerpo

Al prepararse para observar las estructuras internas del cuerpo, los estudiantes médicos realizan una **sección** o corte.

Cuando se realiza a través de la pared corporal o de un órgano, sigue una línea imaginaria que se denomina **plano.** Puesto que el cuerpo es tridimensional, podemos hacer referencia a tres tipos de planos o cortes que forman ángulo recto entre sí (Figura 1.6).

Una **sección sagital** es un corte a lo largo del plano longitudinal del cuerpo que lo divide así en partes derecha e izquierda.

En caso de que el corte se realice por el plano medio del cuerpo y las partes derecha e izquierda tengan igual tamaño, se denominará **sección mediana** o **sagital media.**

La **sección frontal** se corta en un plano longitudinal que divide el cuerpo (o un órgano) en partes anterior y posterior. También se llama **sección coronal.**

Una **sección transversal** es un corte que sigue un plano horizontal y divide con ello el cuerpo o el órgano en partes superior e inferior.

La sección de un cuerpo o un órgano en planos diferentes resulta en vistas muy diferentes. Por ejemplo, la sección transversal del tronco al nivel de los riñones mostraría con gran claridad su estructura en un corte transversal; una sección frontal del tronco mostraría una vista diferente de la anatomía del riñón y una sección sagital media no incluiría los riñones en absoluto.

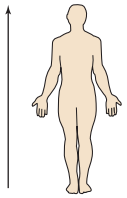
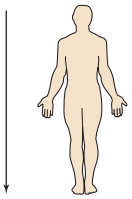
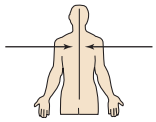
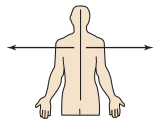
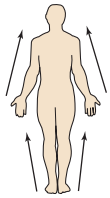
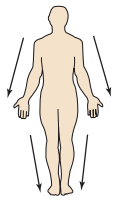
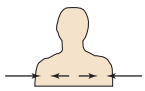
Al utilizar las imágenes obtenidas mediante resonancia magnética (MRI) en diferentes planos del cuerpo podemos obtener información sobre la ubicación de los diferentes órganos del cuerpo, según se muestra en la Figura 1.6. (La obtención de imágenes mediante MRI se describe con mayor detalle en el recuadro “Más de cerca”, en las págs. 8-9).

Cavidades corporales

Los libros de texto de anatomía y fisiología suelen describir dos conjuntos de cavidades internas en el cuerpo, llamadas cavidad dorsal y cavidad ventral, que ofrecen diferentes grados de protección a los ór-

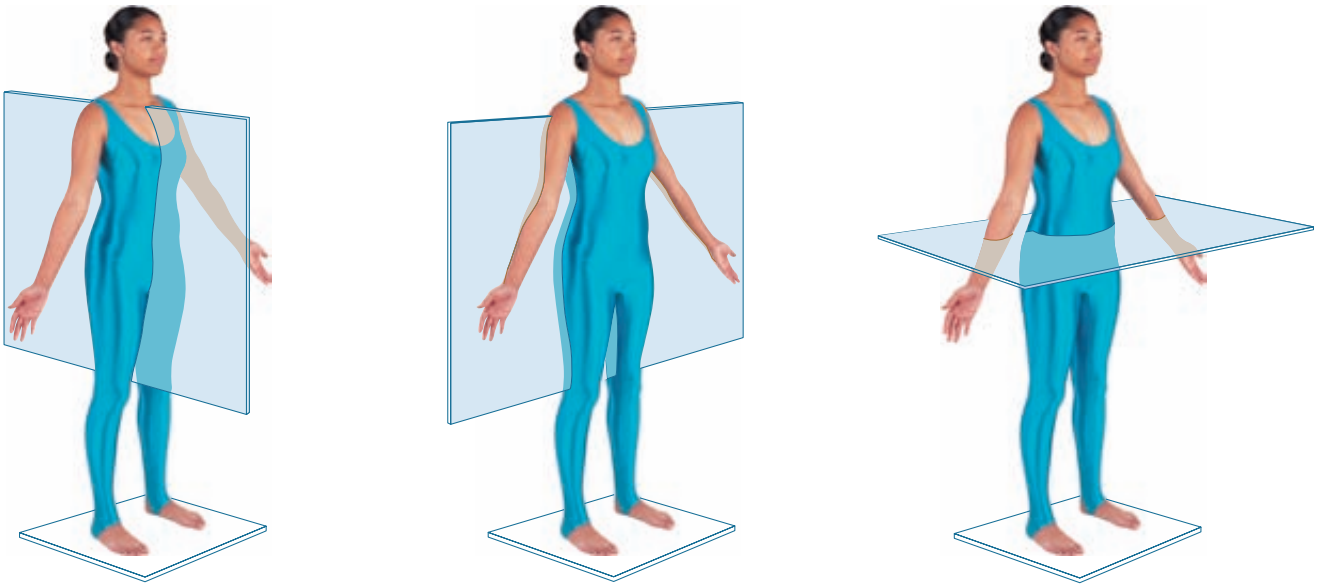
(Continúa en la página 20)

TABLA 1.1 Términos de orientación y dirección

Término	Definición	Ilustración	Ejemplo
Superior (craneana o cefálica)	Hacia el extremo superior de una estructura o del cuerpo; hacia arriba		La frente está en posición superior a la nariz.
Inferior (caudal)*	Alejado del extremo superior o hacia la parte inferior de una estructura o del cuerpo; hacia abajo		El ombligo está en posición inferior al esternón.
Ventral (anterior)†	Hacia la parte delantera del cuerpo; delante de		El esternón está en posición anterior a la espina dorsal.
Dorsal (posterior)†	Hacia la parte trasera del cuerpo; detrás		El corazón está en posición posterior al esternón.
Medial (o interno)	Hacia la línea central del cuerpo o en ella; en la parte interior		El corazón está en posición medial en relación con el brazo.
Lateral (o externo)	Alejado de la línea central del cuerpo; en la parte exterior		Los brazos están en posición lateral en relación con el tórax.
Proximal	Cerca del origen de la parte del cuerpo o el punto de fijación de una extremidad al tronco del cuerpo		El codo está en posición proximal en relación con la muñeca (lo cual indica que el codo está más cerca del hombro o del punto de conexión del brazo de lo que lo está la muñeca).
Distal	Lejos del origen de la parte del cuerpo o el punto de fijación de una extremidad al tronco del cuerpo		La rodilla está en posición distal en relación con el muslo.
Superficial (periférico)	Hacia o en la superficie corporal		La piel está en posición superficial en relación con el esqueleto.
Profundo (central)	Alejado de la superficie corporal; más interno		Los pulmones están en posición profunda en relación con la caja torácica.

*El término *caudal*, literalmente, «hacia la cola» es sinónimo de *inferior* sólo en el extremo inferior de la columna vertebral.
†*Ventral* y *anterior* son sinónimos en los seres humanos, aunque no en los animales de cuatro patas. *Ventral* hace referencia al «vientre» de un animal y, por ello, es la superficie inferior de los animales cuadrúpedos. De forma similar, aunque las superficies dorsal y posterior coinciden en los seres humanos, el término *dorsal* hace referencia a la espalda de un animal. Por ello, la superficie dorsal de los animales cuadrúpedos es su superficie superior.

P *¿Qué tipo de corte separaría los ojos?*



(a) Plano medio (sagital medio) **(b)** Plano frontal (coronal) **(c)** Plano transversal

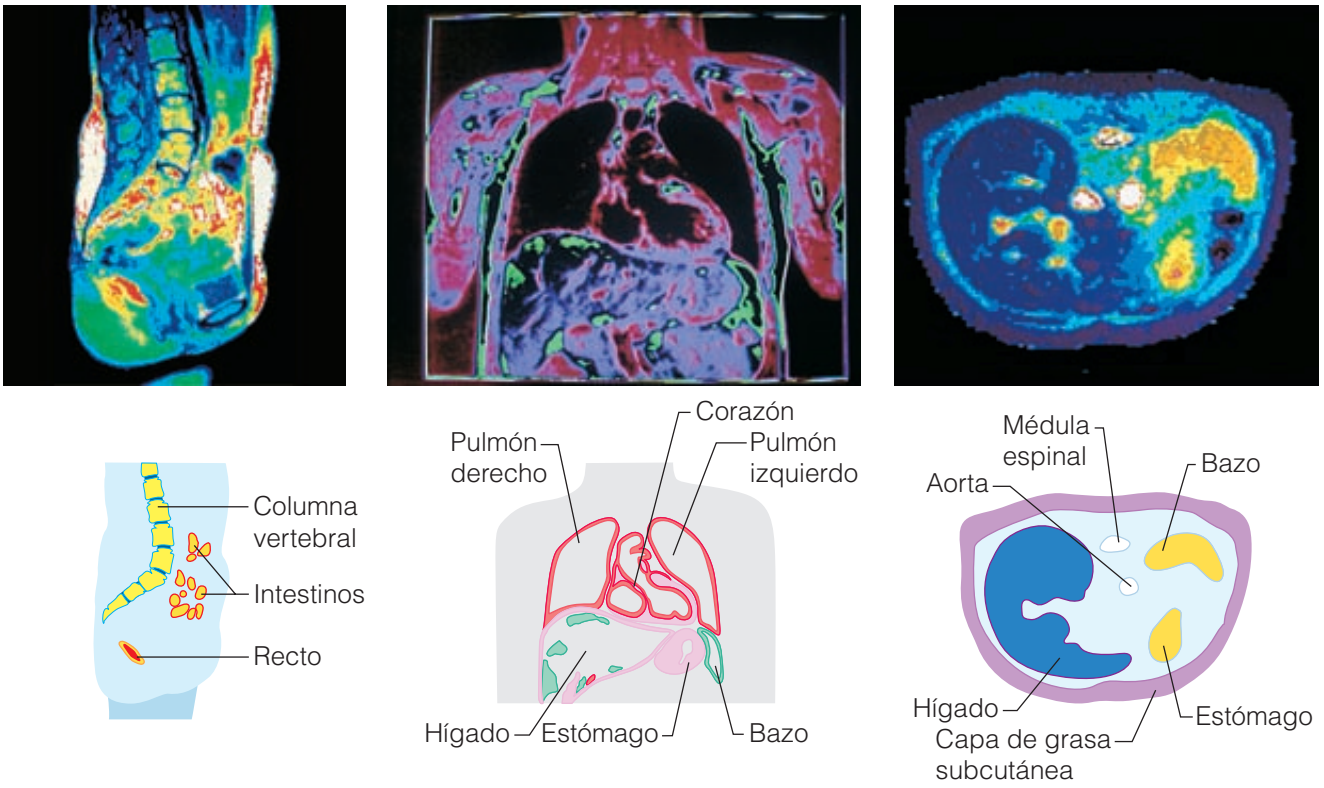


FIGURA 1.6 Posiciones y planos anatómicos del cuerpo (medio, frontal y transversal) con los escaneados de RM correspondientes. Los diagramas que identifican los órganos del cuerpo observados en las imágenes obtenidas mediante RM aparecen abajo.

R *Un corte sagital medio.*

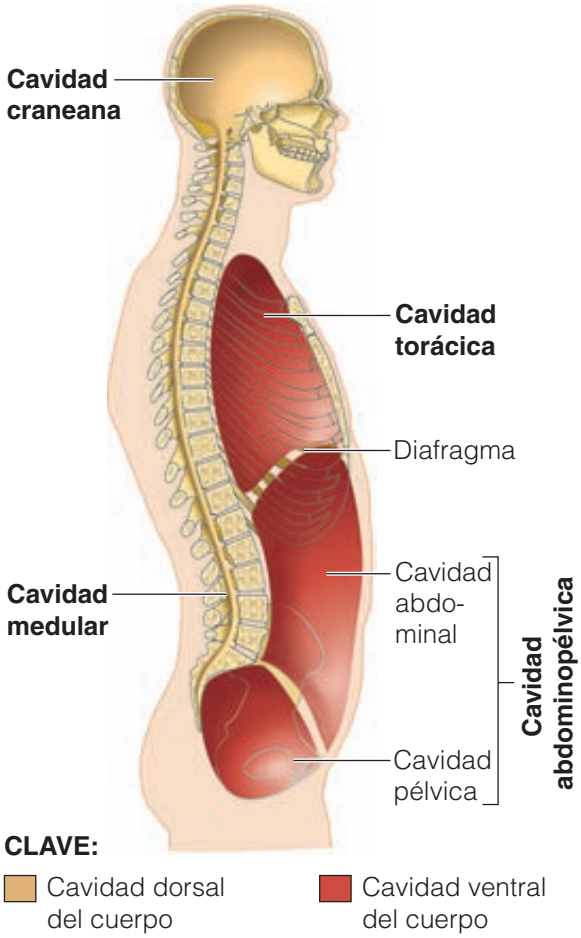


FIGURA 1.7 **Cavidades del cuerpo.** Debe señalarse la relación angular entre las cavidades abdominal y pélvica.

ganos que se encuentran en su interior (Figura 1.7). Puesto que estas cavidades difieren en el modo de desarrollo embriológico y en sus membranas de revestimiento, muchos libros de anatomía no identifican la cavidad dorsal o neural del cuerpo como una cavidad corporal interna. No obstante, la idea de dos conjuntos importantes de cavidades corporales internas constituye un concepto útil para el aprendizaje, por lo que continuaremos utilizándolo en este texto.

Cavidad dorsal del cuerpo

La **cavidad dorsal del cuerpo** se compone de dos subdivisiones continuas. La **cavidad craneana** es el espacio en el interior de los huesos del cráneo donde se encuentra bien protegido el cerebro. La **cavidad medular** se extiende desde la cavidad craneana casi hasta el final de la columna vertebral y en ella se aloja la médula espinal, continuación del cerebro, protegida por las vértebras que la rodean.

Cavidad ventral del cuerpo

La **cavidad ventral del cuerpo** es mucho mayor que la cavidad dorsal y contiene todas las estructuras del tórax y el abdomen (las vísceras que se encuentran en dichas regiones). Al igual que la cavidad dorsal, la cavidad ventral está subdividida por un músculo en forma de cúpula, el **diafragma,** que separa la **cavidad torácica** superior, que aloja pulmones, corazón y otros órganos, del resto de la cavidad ventral. Una región central llamada **mediastino** separa los pulmones en cavidades derecha e izquierda en la cavidad torácica y aloja el corazón, la tráquea y otras vísceras.

La cavidad situada bajo el diafragma es la **cavidad abdominopélvica,** que puede subdividirse en **cavidad abdominal** superior (donde se encuentran estómago, hígado, intestinos y otros órganos) y **cavidad pélvica** inferior, con órganos reproductores, vejiga y recto, aunque no hay una estructura física real que divida dicha cavidad abdominopélvica. Si observas detenidamente la Figura 1.7, verás que la cavidad pélvica no forma un continuo con la cavidad abdominal en un plano recto, sino que se inclina alejándose de la cavidad abdominal en dirección posterior.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando el cuerpo se somete a un trauma físico (como ocurre a menudo, en un accidente de automóvil por ejemplo), los órganos abdominopélvicos más vulnerables son los que se encuentran en la cavidad abdominal, porque sus paredes están formadas exclusivamente por músculos del tronco y no están reforzadas por huesos. Los órganos pélvicos reciben cierto grado de protección mayor gracias a la pelvis ósea en la que están alojados. ▲

Puesto que la cavidad abdominopélvica es bastante grande y contiene gran número de órganos, resulta útil dividirla en áreas más pequeñas para su estudio. El personal médico suele utilizar un esquema que la divide en cuatro regiones más o menos iguales que se denominan *cuadrantes*. Los nombres de los cuadrantes indican sus posiciones relativas: cuadrante superior derecho, cuadrante inferior derecho, cuadrante superior izquierdo y cuadrante inferior izquierdo (Figura 1.8a).

Otro sistema, usado principalmente por los especialistas en anatomía, divide la cavidad abdominopél-

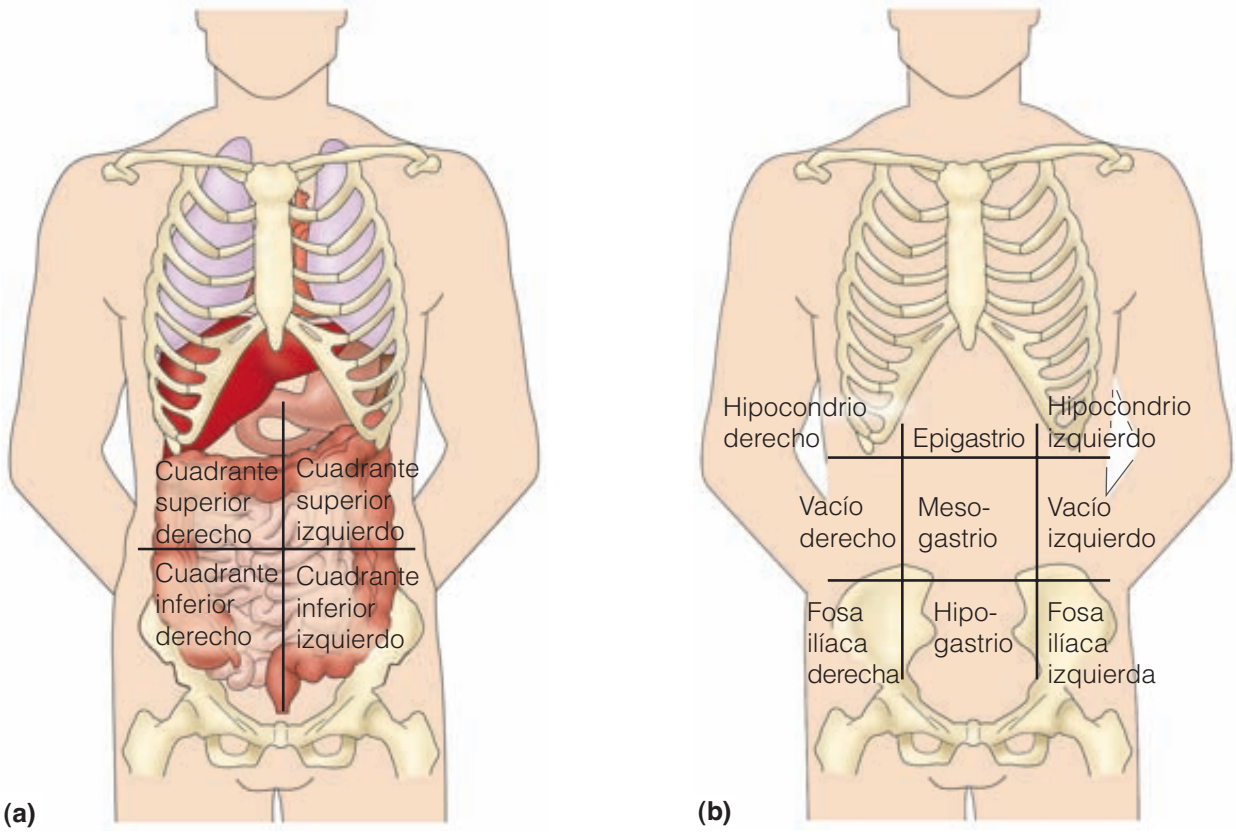
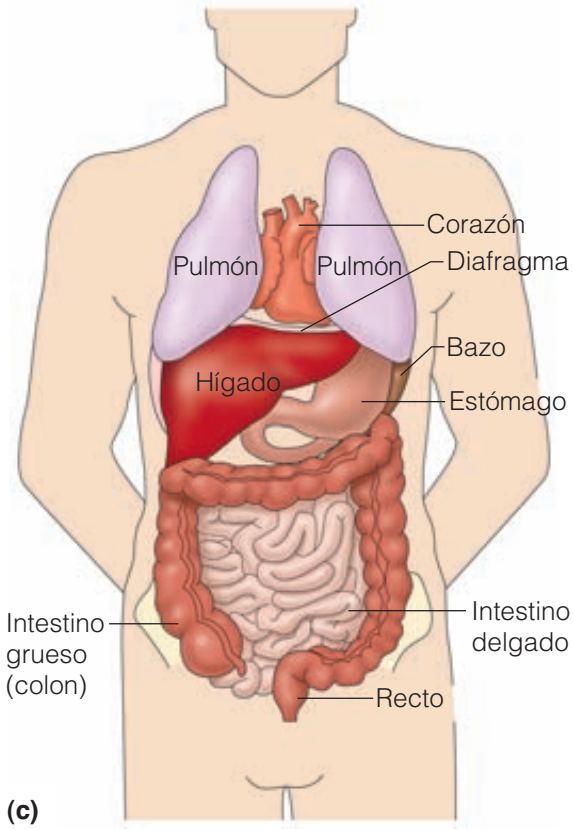


FIGURA 1.8 Superficie y cavidad abdominopélvicas. (a) Los cuatro cuadrantes. **(b)** Las nueve regiones delimitadas mediante cuatro planos. El plano horizontal superior se encuentra en la cara inferior de las costillas; el plano horizontal inferior se encuentra en la parte superior de los huesos de la cadera y los planos verticales se encuentran sencillamente medianos en relación con los pezones. **(c)** Vista anterior de la cavidad ventral del cuerpo en la que se muestran los órganos superficiales.

vica en nueve *regiones* separadas por cuatro planos (Figura 1.8.b). Aunque sus nombres no te resulten familiares en este momento, los recordarás mejor después de repasarlas. Al ubicar estas regiones en la figura, debes comprobar qué órganos contienen consultando la Figura 1.8.c.



- La **región umbilical** es la región más central, por debajo del ombligo y rodeada por él.
- La **región epigástrica** se encuentra en posición superior en relación a la región umbilical (*epi* = sobre; *gastric* = estómago).
- La **región hipogástrica (púbica)** se encuentra en una ubicación inferior en relación con la región umbilical (*hypo* = por debajo).
- Las **regiones ilíacas,** o **inguinales, derecha** e **izquierda** se encuentran a los lados de la región hipogástrica (*iliac* = parte superior del hueso de la cadera).
- Las **regiones lumbares derecha** e **izquierda** se encuentran laterales con respecto a la región umbilical (*lumbus* = entrañas).
- Las **regiones hipocondríacas derecha** e **izquierda** flanquean la región epigástrica y contienen las costillas inferiores (*chondro* = cartílago).

Cavidades corporales abiertas

Además de las grandes cavidades corporales cerradas, hay varias cavidades corporales más pequeñas, la mayoría en la cabeza, que se abren al exterior. A excepción de las cavidades del oído medio, las regiones corporales que albergan estas cavidades se muestran en la Figura 1.5.

- **Cavidades bucal y digestiva.** La cavidad bucal, o boca, contiene los dientes y la lengua. Esta cavidad es parte y continuación de la cavidad de los órganos digestivos, que se abre al exterior en el ano.
- **Cavidad nasal.** Situada en la nariz y tras ella, la cavidad nasal es parte de las vías respiratorias del aparato respiratorio.
- **Cavidades orbitales.** Las cavidades orbitales, u órbitas del cráneo, alojan los ojos y los presentan en una posición anterior.
- **Cavidades del oído medio.** Las cavidades del oído medio talladas en el cráneo se encuentran mediales con respecto a los tímpanos y contienen huesos minúsculos que transmiten las vibraciones sonoras a los receptores en los oídos internos.

¿LO HAS ENTENDIDO?

8. ¿Por qué resulta tan importante para un estudiante de anatomía comprender la posición anatómica?
9. Las áreas axilar y acromial se encuentran en el área general del hombro. ¿A qué área específica del cuerpo se aplica cada uno de estos términos?
10. ¿Qué tipo de sección cortaría el cerebro en partes anterior y posterior?
11. Si quisiera separar la cavidad torácica de un cadáver de su cavidad abdominal, ¿qué tipo de sección realizaría?
12. De la médula espinal, el intestino delgado, el útero y el corazón, ¿cuáles se encuentran en la cavidad dorsal del cuerpo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se proporciona la referencia sobre las herramientas de estudio multimedia que sirven para el repaso de los temas clave del Capítulo 1.

IP = *Inter Active Pshysiology*
WEB = The A&P Place

Visión general de anatomía y fisiología (págs. 2–3)

1. La anatomía estudia las estructuras. Para ver los tamaños y las relaciones de las partes del cuerpo se utiliza la observación.
2. La fisiología es el estudio del modo en que funciona una estructura (que puede ser una célula, un órgano o un sistema de órganos).
3. La estructura determina qué funciones pueden realizarse; por lo tanto, si cambia la estructura, también debe cambiar la función.

Niveles de organización estructural (págs. 3-7, 10)

1. Hay seis niveles de organización estructural. Los átomos (a nivel químico) se combinan para formar la unidad vital: la célula. Las células se agrupan en tejidos, que a su vez se combinan de formas específicas para formar órganos. Varios órganos forman un sistema o aparato orgánico que realiza una función específica en el cuerpo (y que no puede realizar ningún otro sistema orgánico). Juntos, todos los sistemas de órganos forman el organismo o cuerpo vivo.

WEB Actividades: Chapter 1, Levels of Biological Organization.

2. Para obtener una descripción de los sistemas o aparatos orgánicos con nombres y funciones de los principales órganos, consulta las págs. 4-7.

Mantenimiento de la vida (págs. 10-12)

1. Para conservar la vida, un organismo debe poder mantener sus límites, moverse, responder a los estímulos, digerir nutrientes y excretar desechos, realizar sus tareas metabólicas, reproducirse y crecer.
2. Las necesidades de supervivencia incluyen: alimentos, oxígeno, agua, temperatura apropiada y presión atmosférica normal. Los extremos de cualquiera de estos factores pueden resultar dañinos.

Homeostasis (págs. 12-13, 15)

1. Las funciones corporales interactúan para mantener la homeostasis, o un entorno interno relativamente estable en el cuerpo. La homeostasis resulta necesaria para la supervivencia y para la buena salud, y su pérdida resulta en enfermedades o trastornos.
2. Todos los mecanismos de control homeostático se componen de tres elementos: (1) un receptor que responde a los cambios ambientales, (2) un centro de control que evalúa dichos cambios y produce una respuesta activando (3) un efector.
3. La mayoría de los sistemas de control homeostático son sistemas de retroalimentación negativa, que actúan para reducir o frenar el estímulo inicial.

El lenguaje de la anatomía (págs. 15-22)

1. La terminología anatómica es relativa y asume que el cuerpo se encuentra en la posición anatómica (de pie con las palmas mirando hacia fuera).
2. Términos de dirección:
   a. Superior (craneal): superior a otra cosa, hacia la cabeza.
   b. Inferior (caudal): bajo otra cosa, hacia la cola.
   c. Ventral (anterior): hacia la parte delantera del cuerpo o de la estructura.
   d. Dorsal (posterior): hacia la parte trasera del cuerpo o de la estructura.
   e. Medial: hacia la línea media del cuerpo.
   f. Lateral: alejado de la línea media del cuerpo.
   g. Proximal: más cerca del punto de unión.
   h. Distal: más alejado del punto de unión.
   i. Superficial (externo): en la superficie corporal o cerca de ella.
   j. Profundo (interno): bajo la superficie corporal o alejado de ella.
3. Términos regionales. Hitos visibles sobre la superficie corporal que pueden utilizarse específicamente para referirse a una parte o área del cuerpo. Consulta las págs. 16 y 17 para ver los términos referidos a la anatomía superficial anterior y posterior.

   WEB Actividades: Chapter 1, Anatomical Terminology: Orientation and Directional Terms.
4. Planos y secciones del cuerpo.
   a. Sección sagital: divide el cuerpo en sentido longitudinal en partes derecha e izquierda.
   b. Sección frontal (coronal): divide el cuerpo en un plano longitudinal en partes anterior y posterior.
   c. Sección transversal: divide el cuerpo en un plano horizontal en partes superior e inferior.

   WEB Actividades: Chapter 1, Body Planes.
5. Cavidades del cuerpo:
   a. Dorsal: bien protegida por los huesos; consta de dos subdivisiones:
      (1) Craneana: contiene el cerebro.
      (2) Espinal: contiene la médula espinal.
   b. Ventral: menos protegida que la cavidad dorsal; consta de dos subdivisiones:
      (1) Torácica: cavidad superior que se extiende por la parte inferior hasta el diafragma; contiene el corazón y los pulmones, que están protegidos por la caja torácica.
      (2) Abdominopélvica: cavidad bajo el diafragma que contiene los órganos digestivos, urinarios y reproductores. La porción abdominal es vulnerable porque sólo está protegida por los músculos del tronco, mientras que la porción pélvica está algo protegida por la pelvis ósea. La cavidad abdominopélvica a menudo se divide en cuatro cuadrantes o nueve regiones (consulta la Figura 1.8).
   c. Las cavidades del cuerpo abiertas, más pequeñas, incluyen las cavidades bucal, nasal, orbital y del oído medio.

   WEB Actividades: Chapter 1, Dorsal and Ventral Cavities.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Considera los siguientes niveles: (1) químico; (2) tisular; (3) órgano; (4) celular; (5) orgánico; (6) sistémico. ¿Cuáles de las siguientes opciones enumera los niveles en orden de complejidad en aumento?
   a. 1, 2, 3, 4, 5, 6
   b. 1, 4, 2, 5, 3, 6
   c. 3, 1, 2, 4, 6, 5
   d. 1, 4, 2, 3, 6, 5
   e. 4, 1, 3, 2, 6, 5

2. ¿Cuáles de los siguientes términos están implicados en el mantenimiento de la homeostasis?
   a. Efector.
   b. Centro de control.
   c. Receptor.
   d. Retroalimentación.
   e. Falta de cambio.

3. ¿Qué no resulta esencial para la supervivencia?
   a. Agua.
   b. Oxígeno.
   c. Gravedad.
   d. Presión atmosférica.
   e. Nutrientes.

4. Usando los términos que se indican a continuación, rellena los espacios en blanco con el término correcto.

   anterior superior medial proximal superficial
   posterior inferior lateral distal profundo

   El corazón está situado en posición _____ con respecto al diafragma.

   Los músculos se encuentran en posición _____ en relación con la piel.

   El hombro se encuentra en posición _____ en relación con el codo.

   En posición anatómica, el pulgar se encuentra en posición _____ en relación con el índice.

   La región vertebral se encuentra en una posición _____ con respecto a la región escapular.

   La región glútea se encuentra en posición _____ con respecto a la superficie del cuerpo.

5. Une el término anatómico correcto (columna B) con el nombre común (columna A) para las regiones del cuerpo que se indican a continuación.

Columna A	**Columna B**
_____ nalgas	a. inguinal
_____ espalda	b. frontal
_____ hombro	c. dorsal
_____ delante del codo	d. lumbar
_____ dedos del pie	e. glútea
_____ ingle	f. antecubital
_____ frente	g. plantar
_____ parte baja de la espalda	h. digital
_____ planta del pie	i. escapular

6. Los términos anatómicos que se aplican a la parte posterior del cuerpo en la posición anatómica incluyen:
   a. ventral y anterior.
   b. espalda y trasero.
   c. posterior y dorsal.
   d. cabeza y lateral.

7. Un neurocirujano ordena una punción lumbar para un paciente. ¿En qué cavidad del cuerpo se insertará la aguja?
   a. Ventral.
   b. Torácica.
   c. Dorsal.
   d. Craneana.
   e. Pélvica.

8. ¿Cuáles de las siguientes agrupaciones de las regiones abdominopélvicas es mediana?
   a. Hipocondriaca, hipogástrica, umbilical.
   b. Hipocondriaca, lumbar, inguinal.
   c. Hipogástrica, umbilical, epigástrica.
   d. Lumbar, umbilical, ilíaca.
   e. Ilíaca, umbilical, hipocondriaca.

Respuesta breve

9. Define *anatomía* y *fisiología*.

10. Enumera los once sistemas de órganos del cuerpo; describe brevemente la función de cada uno de ellos y, a continuación, nombra dos órganos de cada sistema o aparato.

11. Explica el significado de *homeostasis* según su aplicación a los organismos vivos.

12. ¿Cuál es la consecuencia de la pérdida de la homeostasis o desequilibrio homeostático?

13. Muchas estructuras corporales son simétricas. ¿Son simétricos los riñones? ¿Y el estómago?

14. En qué superficie corporal se encuentra cada uno de los siguientes: nariz, pantorrilla, orejas, ombligo, uñas.

15. ¿Cuáles de los siguientes sistemas o sistemas de órganos (digestivo, respiratorio, reproductor, circulatorio, urinario o muscular) se encuentra en *ambas* subdivisiones de la cavidad ventral del cuerpo? ¿Cuáles se encuentran sólo en la cavidad torácica? ¿Y sólo en la cavidad abdominopélvica?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

16. Una enfermera informó a Juan de que iba a sacarle sangre de su región antecubital. ¿A qué parte del cuerpo se refería? Más tarde volvió y le explicó que iba a administrarle una inyección de antibiótico en la región deltoidea. ¿Se sacó la camisa o se bajó los pantalones para que le pusieran la inyección? Antes de que Juan saliera de la oficina, la enfermera observó que su región sural izquierda mostraba unos grandes cardenales. ¿En qué parte de su cuerpo se había hecho daño?

17. ¿Cómo se relacionan el concepto de homeostasis o su pérdida con la enfermedad y el envejecimiento? Pon algunos ejemplos que apoyen tu opinión.

18. Carmen Pérez se cayó de la motocicleta y se rompió un nervio en la región axilar; también se rasgó algunos ligamentos en las regiones cervical y escapular, y se rompió el único hueso de la región braquial derecha. Explica dónde se encontraba cada una de sus lesiones.

19. El Sr. Pérez se comporta de forma anómala y los médicos sospechan que tiene un tumor cerebral. ¿Qué dispositivo de obtención de imágenes médicas (radiografías tradicionales, DSA, PET, ecografía o MRT) sería mejor para encontrar con exactitud un tumor en el cerebro? Explica tu respuesta.

20. La paratirina (PTH) se secreta en respuesta a una caída en las concentraciones séricas de calcio, es decir, se regula mediante un mecanismo de retroalimentación negativo. ¿Qué puede esperarse que ocurra con las concentraciones séricas de calcio a medida que se secreten mayores cantidades de PTH y por qué?

CAPÍTULO

2

Química básica

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

NUESTROS OBJETIVOS

Conceptos de materia y energía (págs. 27-28)

- Saber diferenciar materia de energía.
- Enumerar las principales formas de energía y poner un ejemplo sobre cómo se utiliza cada forma de energía en el organismo.

Composición de la materia (págs. 29-34)

- Definir *elemento químico* y confeccionar la lista de los cuatro elementos que forman el grueso de la materia corporal.
- Explicar cómo están relacionados los elementos y los átomos.
- Hacer una lista de las partículas subatómicas y describir sus masas relativas, sus cargas y sus posiciones en el átomo.
- Definir *radioisótopo* y describir brevemente cómo se utilizan los radioisótopos en el diagnóstico y tratamiento de las enfermedades.

Moléculas y compuestos (págs. 34-35)

- Reconocer que las reacciones químicas implican la interacción de electrones para crear y romper enlaces químicos.
- Definir *molécula* y explicar cómo las moléculas están relacionadas con los compuestos.

Enlaces químicos y reacciones químicas (págs. 35-41)

- Aprender a diferenciar enlaces iónicos, covalentes polares y no polares y describir la importancia de los enlaces de hidrógeno.
- Hacer un estudio comparativo de las reacciones de síntesis, descomposición e intercambio.

Bioquímica: la composición química de la materia viva (págs. 41-58)

- Distinguir los compuestos orgánicos de los inorgánicos.
- Saber diferenciar una sal, un ácido y una base.
- Confeccionar una lista con varias sales (o con sus iones) de vital importancia para el funcionamiento del organismo.
- Explicar la importancia del agua para la homeostasis del organismo y facilitar algunos ejemplos de los distintos papeles que desempeña.
- Explicar el concepto de pH y conocer el estado del pH de la sangre.
- Comparar y contrastar hidratos de carbono, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos en términos de sus componentes básicos, estructuras y funciones en el cuerpo.
- Diferenciar las proteínas fibrosas de las proteínas globulares.
- Comparar y contrastar la estructura y funciones del DNA y del RNA.
- Definir *enzima* y explicar el papel de las enzimas.
- Explicar la importancia del ATP en el organismo.

Muchos cursos de anatomía y fisiología son tan cortos que les falta tiempo para considerar la química como una asignatura a tratar. De modo que, ¿por qué habríamos de incluirla aquí? La respuesta es sencilla. Los alimentos que comemos y los medicamentos que tomamos cuando estamos enfermos están compuestos de sustancias químicas. De hecho, todo nuestro cuerpo está hecho de sustancias químicas, montones de ellas, que interactúan continuamente unas con otras a una velocidad increíble.

Aunque es posible estudiar anatomía sin hacer muchas referencias a la química, las reacciones químicas están detrás de todos los procesos del cuerpo: el movimiento, la digestión, los latidos del corazón e incluso los pensamientos. Este capítulo presenta las nociones básicas de la química y la bioquímica (la química de la materia viva), proporcionando los conocimientos que necesitaremos para entender las funciones corporales.

Conceptos de materia y energía

Materia

La **materia** es de lo que está hecho el universo. Con algunas excepciones, se puede ver, oler y tocar. De modo más preciso, la materia es cualquier cosa que ocupe un espacio y que tenga masa (peso). La química estudia la naturaleza de la materia, es decir, cómo se unen y cómo interactúan los componentes básicos.

La materia existe en los estados sólido, líquido y gaseoso. Se encuentran ejemplos de cada estado en el cuerpo humano. Los *sólidos*, como los dientes y los huesos, tienen una forma y un volumen determinados. Los *líquidos* tienen un volumen definido, pero se adaptan a la forma de lo que los contiene. Como ejemplos de líquidos corporales podemos citar el plasma sanguíneo y el líquido intersticial que baña todas las células del organismo. Los *gases* no tienen ni forma ni volumen definidos. El aire que respiramos está compuesto de una mezcla de gases.

La materia puede cambiar a nivel tanto físico como químico. Los *cambios físicos* no alteran la naturaleza básica de una sustancia. Algunos ejemplos son los cambios de estado, como la fusión del hielo cuando se transforma en agua o el cortar los alimentos en trozos más pequeños. Los *cambios químicos* sí alteran la composición de la sustancia, a menudo de modo drástico. La fermentación de las uvas para hacer vino o la digestión de los alimentos en el organismo son ejemplos de cambios químicos.

Energía

Al contrario que la materia, la **energía** no tiene masa y no ocupa espacio. Sólo puede medirse por sus efectos en la

materia. A la energía se la suele definir como la capacidad de hacer un trabajo o de poner materia en movimiento. De hecho, cuando la energía está haciendo un trabajo (mover objetos), nos referimos a ella como **energía cinética.** Esto se constata en el movimiento constante de las partículas más pequeñas de materia (átomos), así como en objetos más grandes, como cuando rebota una pelota.

Cuando la energía está inactiva o almacenada (como en las pilas de un juguete que se ha dejado de utilizar), se la denomina **energía potencial.** Todas las formas de energía demuestran tener capacidad tanto para trabajo cinético como para trabajo potencial.

De hecho, la energía es un asunto físico, pero es difícil separar materia y energía. Todo lo vivo está hecho de materia y para crecer y funcionar necesita un abastecimiento continuo de energía. Así, la materia es la sustancia y la energía es lo que mueve a la sustancia. Debido a esto, merece la pena desviarnos un poco para presentar las formas de energía que utiliza el cuerpo cuando realiza su trabajo.

Formas de energía

- La **energía química** se almacena en los enlaces de las sustancias químicas. Cuando se rompen estos enlaces, la energía almacenada (potencial) se libera y se transforma en energía cinética (energía en acción). Por ejemplo, cuando las moléculas de gasolina se desintegran en el motor de un coche, la energía liberada hace que éste se mueva. Del mismo modo, todas las actividades del organismo están "dirigidas" por la energía química que obtenemos de los alimentos que ingerimos.
- La **energía eléctrica** resulta del movimiento de partículas cargadas. En casa, la energía eléctrica es el flujo de electrones que pasa por los cables. En el cuerpo, se genera una corriente eléctrica cuando las partículas cargadas (llamadas *iones*) se mueven a través de las membranas celulares. El sistema nervioso utiliza las corrientes eléctricas denominadas *impulsos nerviosos* para transmitir mensajes de una parte del cuerpo a otra.
- La **energía mecánica** es energía *directamente* implicada en la materia en movimiento. Cuando montas en bicicleta, tus piernas proporcionan la energía mecánica que mueve los pedales. Podemos llevar este ejemplo un paso más atrás: cuando los músculos de las piernas se acortan, tiran de los huesos, haciendo que se muevan los miembros (para que puedas pedalear en la bici).
- La **energía radiante** viaja en ondas, es decir, es la energía del espectro electromagnético, lo cual incluye los rayos X, la radiación infrarroja (energía térmica), la luz visible, la radio y las ondas ultravioleta. La energía de la luz, que estimula la retina ocular, es importante en la visión. Las ondas ultravioleta causan quemaduras solares, pero también estimulan nuestro organismo para que produzca vitamina D.

Energía procedente de conversiones

Con unas pocas excepciones, la energía se puede transformar fácilmente de una forma a otra. Por ejemplo, la energía química (de la gasolina) que impulsa el motor de una lancha rápida se convierte en la energía mecánica de las hélices giratorias que facilitan que la lancha se deslice por el agua. En el cuerpo, la energía química de los alimentos está atrapada en los enlaces de una sustancia química altamente energética llamada ATP (adenosín trifosfato). La energía del ATP puede ser transformada, en última instancia, en la energía eléctrica de un impulso nervioso o en la energía mecánica de los músculos cuando se acortan.

Las conversiones de energía son muy poco eficientes, pues parte del aporte inicial de energía se pierde en forma de calor (energía térmica). Realmente no se pierde, ya que la energía no se crea ni se destruye, sino que la parte emitida como calor es *inútil*. Este principio se puede demostrar fácilmente si tocamos una bombilla que haya estado encendida durante alrededor de una hora. Veremos que una parte de la energía eléctrica que llega a la bombilla está produciendo calor en vez de luz. De igual modo, todas las conversiones de energía que tienen lugar en el cuerpo liberan calor. Es este calor lo que nos hace ser animales de sangre caliente y lo que contribuye a que tengamos una temperatura corporal relativamente alta, lo cual influye decisivamente en el funcionamiento del organismo. Por ejemplo, cuando se calienta la materia, sus partículas empiezan a moverse deprisa, es decir, su energía cinética (la energía del movimiento) aumenta. Esto es importante para las reacciones químicas que ocurren en el cuerpo porque, hasta un punto, a mayor temperatura, mayor velocidad de las reacciones. Más adelante aprenderemos más sobre este punto.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. Explica la diferencia entre un cambio químico y un cambio físico en la materia y pon un ejemplo de cada tipo de cambio.
2. Materia y energía: ¿cómo están interrelacionadas?
3. ¿Qué significa que digamos que se "pierde" cierta cantidad de energía cada vez que ésta sufre cambios de forma en el organismo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Composición de la materia

Elementos y átomos

Toda la materia está compuesta por un número limitado de sustancias únicas llamadas **elementos,** que no pueden ser degradadas en sustancias más sencillas por métodos químicos ordinarios. Como ejemplos de elementos, podemos citar muchas sustancias comunes como el oxígeno, el carbono, el oro, el cobre y el hierro.

Hasta ahora, se conocen 112 elementos con certeza y se suponen los números 113 al 118. Noventa y dos de ellos son producidos de modo natural y el resto artificialmente. Cuatro elementos (el carbono, el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno) conforman alrededor del 96% del peso corporal, aunque existen muchos más, presentes en pequeñas cantidades o cantidades traza. La lista completa de los elementos aparece en la **tabla periódica,** una especie de tablero de forma característica que aparece en el Apéndice B y en las aulas de química de todo el mundo. Los elementos más abundantes del organismo y sus funciones principales aparecen en la Tabla 2.1.

Cada elemento está compuesto por partículas o componentes básicos más o menos idénticos llamados **átomos.** Debido a que cada elemento es único, los átomos de cada uno difieren de los de todos los demás elementos. Cada elemento está designado por una expresión química de una o dos letras denominada **símbolo atómico.** En la mayoría de los casos, el símbolo atómico es sencillamente la primera (o las dos primeras) letras del nombre del elemento. Por ejemplo, la C es el símbolo utilizado para designar el carbono, la O el oxígeno y la Ca el calcio. En algunos casos, el símbolo atómico proviene del nombre del elemento en latín, tal como sucede con el sodio, que se representa por Na (de la palabra *natrium* en latín).

Estructura atómica

La palabra *átomo* proviene de la palabra griega con el significado de "que no puede ser dividido" e históricamente esta idea de los átomos fue aceptada como una verdad científica. Según este concepto, en teoría se podría dividir un elemento puro, como un bloque de oro, por ejemplo, en partículas más y más pequeñas hasta llegar a los átomos individuales, y a partir de ahí no se podría seguir subdividiendo.

Sabemos que los átomos, aun de tamaño indescriptiblemente pequeño, son agrupaciones de partículas subatómicas de tamaño incluso menor y que, en determinadas circunstancias muy especiales, los átomos pueden ser divididos en estas partículas más pequeñas. Pese a todo, la vieja idea de la indivisibilidad atómica sigue siendo muy apropiada, porque un átomo pierde las propiedades características de su elemento cuando es dividido en sus subpartículas.

Los átomos que representan los más de 112 elementos están compuestos por números y proporciones diferentes de tres partículas subatómicas, las cuales difieren en su masa, en su carga eléctrica y en su ubicación dentro del átomo (Tabla 2.2). Los **protones (p^+)** tienen carga positiva, mientras que los **neutrones (n^0)** no tienen carga, es decir, son neutros. Los protones y los neutrones son partículas pesadas con la misma masa (1 unidad de masa atómica o 1 amu) aproximadamente. Los pequeños **electrones (e^-)** tienen una carga negativa que cuenta con la misma fuerza de la carga positiva de los protones; sin embargo, su masa es tan pequeña que se suele designar como 0 amu.

La carga eléctrica de una partícula es una medida de su capacidad de atraer o repeler otras partículas cargadas. Las partículas que tienen el mismo tipo de carga (+ con + o – con –) se repelen mutuamente, pero las partículas con cargas distintas (+ con –) se atraen. Las partículas neutras no son atraídas ni repelidas por las partículas con carga.

Debido al hecho de que todos los átomos son eléctricamente neutros, el número de protones de un átomo debe estar equilibrado con respecto al número de sus electrones (anulando, por tanto, las cargas + y – el efecto de la carga contraria). Así por ejemplo, el hidrógeno tiene un protón y un electrón y el hierro tiene 26 protones y 26 electrones. Para cualquier átomo, el número de protones y el de electrones es siempre exactamente igual. Los átomos que han ganado o perdido electrones reciben el nombre de *iones*, como comentaremos con más detalle en breve.

Modelos planetario y orbital de un átomo

El **modelo planetario** de un átomo representa el átomo como un sistema solar en miniatura (Figura 2.1a), en el cual los protones y los neutrones aparecen agrupados en el centro del átomo en el núcleo atómico. Debido a que el núcleo contiene todas las partículas pesadas, es increíblemente denso y tiene carga positiva. Los pequeños electrones orbitan alrededor del núcleo en órbitas fijas y generalmente circulares, como planetas alrededor del sol. Pero nunca podemos determinar el emplazamiento exacto de los electrones en un momento determinado puesto que saltan de un lado para otro siguiendo rutas desconocidas. De modo que, en lugar de hablar de órbitas específicas, los químicos hablan de *orbitales*, es decir, regiones alrededor del núcleo en las que es *probable* encontrar un electrón dado o un par de electrones la mayor parte del tiempo. Este modelo más moderno de estructura atómica, denominado **modelo orbital,** ha demostrado resultar más útil a la hora de predecir el comportamiento químico de los átomos.

TABLA 2.1 Elementos comunes que componen el cuerpo humano

Elemento	Símbolo atómico	Porcentaje de masa corporal	Función
En mayor proporción (un 96,1%)			
Oxígeno	O	65,0	Componente principal de las moléculas orgánicas e inorgánicas. Como gas, es esencial para la oxidación de la glucosa y otros combustibles procedentes de los alimentos, durante la cual se produce energía para las células (ATP).
Carbono	C	18,5	Es el principal componente elemental de todas las moléculas orgánicas, incluidos los hidratos de carbono, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos.
Hidrógeno	H	9,5	Componente de la mayoría de las moléculas orgánicas. En su forma iónica influye en el pH de los líquidos del organismo.
Nitrógeno	N	3,2	Componente de las proteínas y de los ácidos nucleicos (material genético).
En una proporción menor (3,9%)			
Calcio	Ca	1,5	Se encuentra en forma de sal en los dientes y los huesos. En su forma iónica, es necesario para la contracción muscular, la transmisión nerviosa y la coagulación sanguínea.
Fósforo	P	1,0	Presente como una sal, en combinación con el calcio, en los dientes y los huesos. También se encuentra en los ácidos nucleicos y en muchas proteínas. Forma parte del altamente energético componente ATP.
Potasio	K	0,4	En su forma iónica, es el principal catión intracelular. Es necesario para la conducción de los impulsos nerviosos y para la contracción muscular.
Azufre	S	0,3	Componente de las proteínas (concretamente de las proteínas contráctiles de los músculos).
Sodio	Na	0,2	Como ión, es el principal catión extracelular. Es importante para el equilibrio hídrico, la conducción de los impulsos nerviosos y la contracción muscular.
Cloro	Cl	0,2	En su forma iónica, es un anión extracelular principal.
Magnesio	Mg	0,1	Presente en los huesos. También es un cofactor importante en la actividad enzimática de muchas reacciones metabólicas.
Yodo	I	0,1	Necesario para que las hormonas tiroideas funcionen.
Hierro	Fe	0,1	Componente de la molécula de hemoglobina (que transporta oxígeno dentro de los glóbulos rojos) y de algunas enzimas.
Traza (menos de 0,01%)*			
Cromo (Cr), cobalto (Co), cobre (Cu), flúor (F), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), selenio (Se), silicio (Si), estaño (Sn), vanadio (V), cinc (Zn).			

*Denominados *elementos traza,* porque sólo son necesarios en cantidades muy pequeñas. Muchos se encuentran formando parte de enzimas o son necesarios para la activación enzimática.

TABLA 2.2 Partículas subatómicas

Partícula	Posición en el átomo	Masa (amu)	Carga
Protón (p^+)	Núcleo	1	+
Neutrón (n^0)	Núcleo	1	0
Electrón (e^-)	Orbitales fuera del núcleo	1/1800	–

Como ilustra la Figura 2.1b, el modelo orbital describe la ubicación general de los electrones fuera del núcleo como una bruma de carga negativa que denominamos *nube de electrones*. Las regiones en las que es más probable encontrar electrones se muestran como zonas más oscuras, en vez de como órbitas. Independientemente del modelo utilizado, date cuenta de que los electrones tienen el recorrido de casi todo el volumen del átomo y determinan su comportamiento químico, es decir, su capacidad para crear enlaces con otros átomos. Aunque hoy en día se considera desfasado, el modelo planetario es sencillo y fácil de entender y de utilizar. La mayoría de las descripciones de la estructura atómica que encontrarás en este libro utilizan ese modelo. El hidrógeno es el átomo más simple, sólo posee un protón y un electrón. Puedes visualizar las relaciones espaciales dentro del átomo de hidrógeno si lo imaginas agrandado hasta que su diámetro iguale la longitud de un campo de fútbol. En ese caso, el núcleo podría representarse como una pelota de plomo con el tamaño de una pastilla de goma en el centro exacto de la esfera y el electrón solitario como una mosca volando por la esfera de manera impredecible. Esta imagen mental te debería servir para recordarte que la mayor parte del volumen de un átomo es espacio vacío y que la mayoría de la masa está concentrada en el núcleo central.

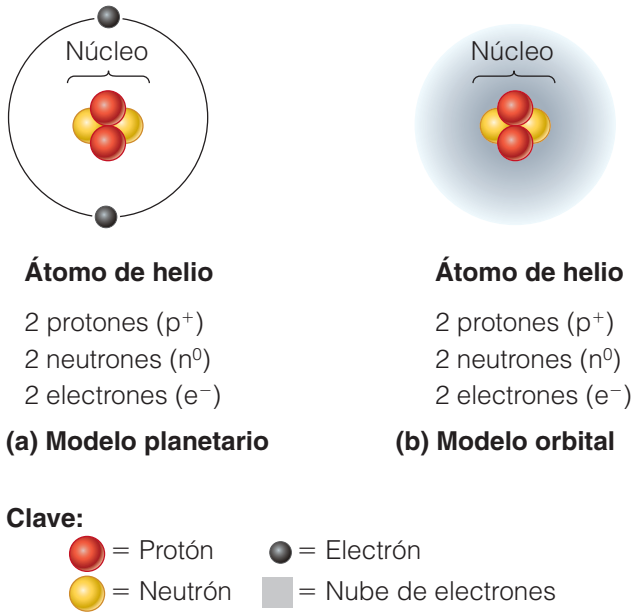


FIGURA 2.1 La estructura de un átomo. El denso núcleo central contiene los protones y los neutrones. **(a)** En el modelo planetario de estructura atómica, los electrones se mueven alrededor del núcleo en órbitas fijas. **(b)** En el modelo orbital los electrones se muestran como una nube de carga negativa.

Identificar elementos

Todos los protones se parecen, no importa de qué átomo se trate. Lo mismo se puede decir de todos los neutrones y de todos los electrones. De modo que, ¿qué es lo que determina las propiedades características de cada elemento? La respuesta es que los átomos de los distintos elementos están compuestos por un *número diferente* de protones, neutrones y electrones.

El átomo más sencillo y más pequeño, el hidrógeno, tiene un protón, un electrón y no tiene neutrones (Figura 2.2). A continuación viene el átomo de helio, con dos protones, dos neutrones y dos electrones orbitando. Después sigue el litio con tres protones, cuatro neutrones y tres electrones. Si se continuara añadiendo partículas subatómicas a esta lista, todos los átomos conocidos podrían ser descritos añadiendo un protón y un electrón en cada paso. No es tan fácil precisar el número de neutrones, pero los átomos de la luz tienden a tener el mismo número de protones que de neutrones,

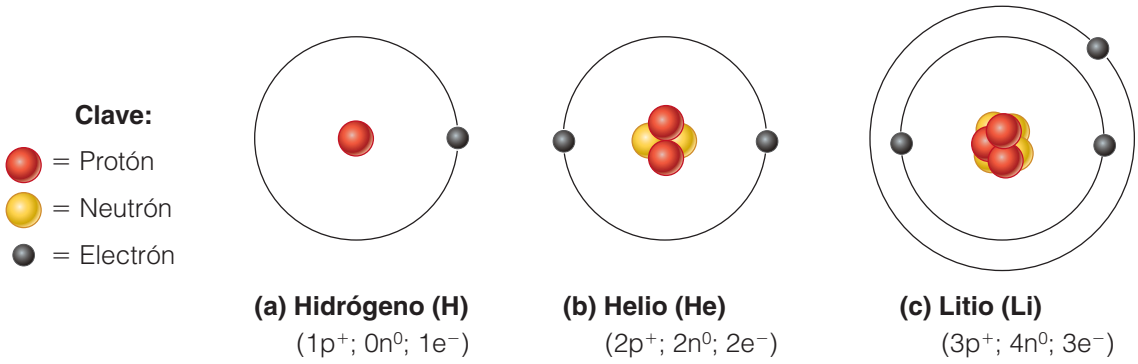


FIGURA 2.2 **Estructura atómica de los tres átomos más pequeños.**

mientras que en átomos más grandes hay más neutrones que protones. Sin embargo, lo único que debemos saber para identificar un elemento particular es su número atómico, su número de masa y su peso atómico. Juntos, estos indicadores proporcionan una descripción bastante detallada de cada elemento.

Número atómico

A cada elemento se le da un número, llamado **número atómico,** que es igual al número de protones que contienen sus átomos. Los átomos de cada elemento contienen un número diferente de protones que los átomos de cualquier otro elemento, por ello su número atómico es único. Debido a que el número de protones es siempre igual al número de electrones, el número atómico, *indirectamente,* también nos indica el número de electrones que contiene ese átomo.

Masa atómica

La **masa atómica** de cualquier átomo es la suma de las masas de todos los protones y neutrones contenidos en su núcleo. (La masa de los electrones es tan pequeña que se desestima). El hidrógeno tiene un solo protón y no tiene neutrones en su núcleo, de modo que su número atómico y su número de masa atómica son iguales (1).

El helio, con 2 protones y 2 neutrones, tiene una masa atómica de 4. El *número másico* aparece escrito como un superíndice a la izquierda del símbolo atómico (véanse los ejemplos de la Figura 2.3).

¿Cuál de estos isótopos es el más pesado?

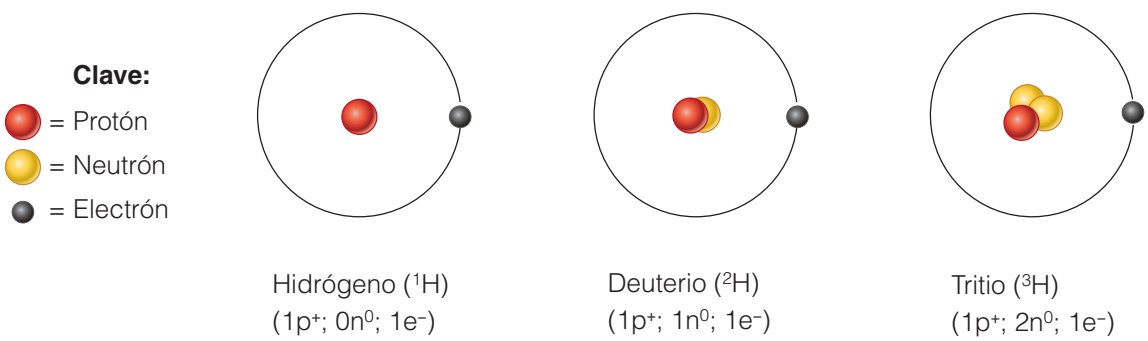


FIGURA 2.3 **Isótopos del hidrógeno.**

El tritio.

TABLA 2.3 **Estructuras atómicas de los elementos más abundantes en el organismo**

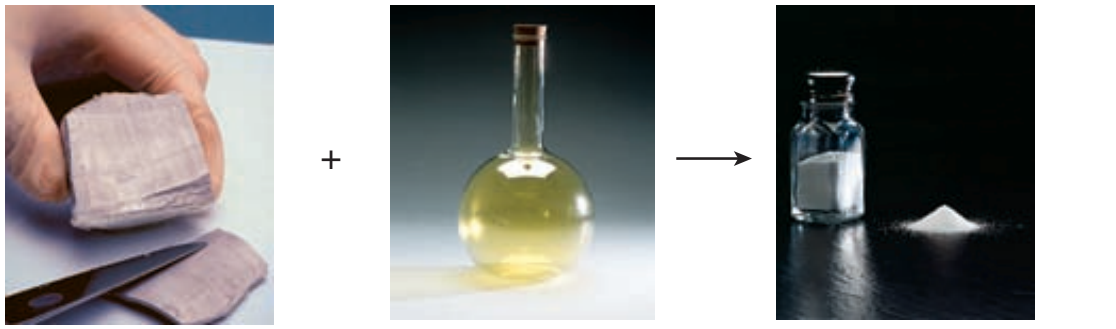
Elemento	Símbolo	Número atómico (n.º de p)	Masa atómica (n.º de p + n)	Peso atómico	Electrones en la capa de valencia
Calcio	Ca	20	40	40,08	2
Carbono	C	6	12	12,011	4
Cloro	Cl	17	35	35,453	7
Hidrógeno	H	1	1	1,008	1
Yodo	I	53	127	126,905	7
Hierro	Fe	26	56	55,847	2
Magnesio	Mg	12	24	24,305	2
Nitrógeno	N	7	14	14,007	5
Oxígeno	O	8	16	5,999	6
Fósforo	P	15	31	30,974	5
Sodio	Na	11	23	22,99	1
Azufre	S	16	32	32,064	6

Peso atómico e isótopos

A primera vista, podría parecer que el **peso atómico** de un átomo debería ser igual que su masa atómica. Esto sería así si sólo hubiera un tipo de átomo que representara a cada elemento. Sin embargo, los átomos de casi todos los elementos presentan dos o más variaciones estructurales, llamadas **isótopos.** Los isótopos tienen el mismo número de protones y de electrones, pero su número de *neutrones* varía. Así, los isótopos de un elemento tienen el mismo número atómico, pero distintas masas atómicas. Debido a que todos los isótopos de un elemento tienen el mismo número de electrones (y éstos determinan las propiedades de los enlaces), sus propiedades químicas son *exactamente* las mismas. Como regla general, el peso atómico de cualquier elemento es aproximadamente el mismo que el número de masa de su isótopo más abundante. Por ejemplo, como ya hemos dicho, el hidrógeno tiene un número atómico de 1, pero también tiene isótopos con masas atómicas de 1, 2 y 3 (Figura 2.3). Su peso atómico es 1,0079, lo cual revela que su isótopo más ligero está presente en el mundo en cantidades mucho mayores que sus formas ^{2}H o ^{3}H. La Tabla 2.3 muestra los números atómicos, los números de masa y los pesos atómicos de los elementos más comunes en el organismo.

Los isótopos más pesados de ciertos átomos son inestables y tienden a descomponerse para volverse más estables; estos isótopos se llaman **radioisótopos.** El porqué de este proceso es muy complejo, pero aparentemente el "pegamento" que mantiene unidos los núcleos atómicos es más débil en los isótopos más pesados. Este proceso de descomposición atómica espontánea se denomina **radioactividad** y puede ser comparable a una pequeña explosión. Todos los tipos de descomposición radioactiva implican la emisión de partículas (*partículas alfa* o *beta*) o de energía electromagnética (*rayos gamma*) del núcleo atómico y son dañinas para las células vivas. Las emisiones alfa son las que tienen menor poder de penetración; la radiación gamma es la que tiene más. Al contrario de lo que se cree, la radiación ionizante no daña directamente a los átomos que se encuentran en su camino. En su lugar, envía electrones volando, como un bolo a través de alfileres, a lo largo de su camino. Estos electrones son los que resultan dañinos.

En cantidades muy pequeñas, se utilizan los radioisótopos para etiquetar moléculas biológicas de modo que se las pueda seguir o trazar por el cuerpo y



Sodio (metal plateado) Cloro (gas venenoso) Cloruro sódico (sal de mesa)

FIGURA 2.4 **Las propiedades de un compuesto difieren de las de sus átomos.**

son herramientas muy valiosas para los diagnósticos y tratamientos médicos. Por ejemplo, en el apartado "Más de cerca" de las páginas 8-9, se habla de la tomografía por emisión de positrones, PET (por las siglas en inglés de *Positron Emission Tomography*), en la que se utilizan radioisótopos. Adicionalmente, se puede usar un radioisótopo de yodo para escanear la glándula tiroides de un paciente del que se sospecha que pueda tener un tumor tiroideo. El radio, el cobalto y otros radioisótopos se utilizan para destruir cánceres localizados.

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. ¿Qué cuatro elementos componen el grueso de la materia viva?
5. ¿Cuál es la relación de un átomo con un elemento?
6. Un átomo tiene 5 neutrones, 4 protones y 4 electrones. ¿Cuál es su número atómico? ¿Cuál es su número de masa atómica?
7. ¿Qué nombre recibe un átomo inestable que o bien tiene más o bien menos neutrones que su número típico?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Moléculas y compuestos

Las **moléculas** se forman cuando dos o más átomos se combinan químicamente. Si se juntan dos o más átomos del mismo elemento, se produce una molécula de ese elemento. Por ejemplo, cuando se crea un enlace entre dos átomos de hidrógeno, se forma una molécula de gas hidrogeno:

$$H \text{ (átomo)} + H \text{ (átomo)} \rightarrow H_2 \text{ (molécula)}^*$$

En el ejemplo dado, los *reactantes* (los átomos que toman parte en la reacción) están indicados por sus símbolos atómicos, y la composición del *producto* (la molécula que se forma) se indica por una *fórmula molecular* que muestra su composición molecular. La reacción química se describe escribiendo una *ecuación química*.

Cuando dos o más átomos *diferentes* se combinan para formar una molécula, nos referimos a ésta más específicamente como molécula de un **compuesto.** Por ejemplo, cuatro átomos de hidrógeno y un átomo de carbono pueden interactuar químicamente para formar metano:

$$4H + C = CH_4 \text{ (metano)}$$

Así, una molécula de metano es un compuesto, pero una molécula de hidrógeno gas no lo es, denominándose en su lugar hidrógeno molecular.

Es importante entender que los compuestos siempre tienen propiedades muy diferentes de las de los átomos que las componen, y sería casi imposible determinar los átomos que forman un compuesto sin analizarlo químicamente.

El cloruro sódico es un ejemplo excelente de la diferencia de propiedades entre un compuesto y sus átomos constituyentes (Figura 2.4). El sodio es un metal de color plata blanquecina y el cloro, en su estado molecular, es un gas venenoso de color verde utilizado para fabricar lejía. Sin embargo, el cloruro sódico es un sólido cristalino blanco que echamos en nuestra comida.

*Es importante destacar que, cuando el número de átomos está escrito como subíndice, éste indica que los átomos están unidos por un enlace químico. Así, 2H representa dos átomos no unidos, pero H_2 indica que los dos átomos de hidrógeno están unidos para formar una molécula.

Date cuenta de que, igual que un átomo es la partícula más pequeña de un elemento que aún mantiene las propiedades de ese elemento, una molécula es la partícula más pequeña de un compuesto que todavía mantiene las propiedades de ese compuesto. Si se rompen los enlaces entre los átomos del compuesto, las propiedades de los átomos, en vez de las del compuesto, son las que aparecerán.

¿LO HAS ENTENDIDO?

8. ¿Cuál es el significado del término molécula?
9. ¿A qué se debe que la molécula de un elemento sea diferente de la molécula de un compuesto?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Enlaces químicos y reacciones químicas

Las **reacciones químicas** tienen lugar cuando los átomos se combinan o se disocian de otros átomos. Los enlaces químicos se forman cuando los átomos se unen químicamente.

Formación de los enlaces

Es importante entender que un enlace químico no es una estructura física tangible, como pueden ser un par de esposas que unen a dos personas. En su lugar, se trata de una relación de energía que implica interacciones entre los electrones de los átomos que reaccionan. Debido a esto, vamos a dedicar unas palabras al papel que desempeñan los electrones en la formación de los enlaces.

El papel de los electrones

Como muestra la Figura 2.2, los electrones ocupan órbitas o regiones generalmente fijas de espacio alrededor del núcleo; estas regiones también reciben el nombre de **capas de electrones** o **niveles de energía.** El número máximo de capas de electrones en cualquier átomo que se conozca hasta ahora es 7, y son numeradas del 1 al 7 desde el núcleo hacia fuera. Los electrones que se encuentran más cerca del núcleo son los que están atraídos con más fuerza a su carga positiva, mientras que los que se encuentran más lejos son los menos sujetos. Como resultado, es frecuente que los electrones más distantes interactúen con otros átomos.

Tal vez esta situación se pueda comparar al desarrollo de un niño. Durante la infancia y los primeros años de vida, el niño pasa casi todo su tiempo en casa y está influido y moldeado por las ideas y exigencias de sus padres. Sin embargo, cuando el niño va al colegio, cada vez se ve más influenciado por sus amigos y por otros adultos, como los profesores y los educadores. Del mismo modo, igual que es más probable que el niño se implique con los "de fuera" cuanto más lejos se encuentre de su casa, los electrones están más influidos por otros átomos a medida que se van alejando cada vez más de la influencia positiva del núcleo.

Hay un límite superior para el número de electrones que puede contener cada capa. La capa 1, que es la más cercana al núcleo, es pequeña y únicamente puede albergar 2 electrones. La capa 2 acoge un máximo de 8. La capa 3 puede contener hasta un total de 18 electrones. Las demás capas están ocupadas por un número cada vez mayor de electrones. La mayoría de las veces (pero no todas), las capas tienden a llenarse consecutivamente.

Los únicos electrones que son importantes si consideramos el comportamiento de los enlaces son los que ocupan la capa más externa del átomo. Esta capa se denomina la **capa de valencia,** y los electrones presentes en ella determinan el comportamiento químico que desarrollará el átomo. Como regla general, los electrones de las capas interiores del átomo no participan en el enlace.

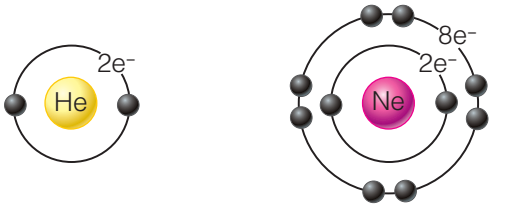
Cuando la capa de valencia de un átomo contiene un total de 8 electrones, el átomo permanece completamente estable y es químicamente inactivo (inerte). Cuando la capa de valencia contiene menos de 8 electrones, un átomo tenderá a ganar, perder o compartir electrones con otros átomos para conseguir un estado estable. Cuando ocurre cualquiera de esos acontecimientos, se forman los enlaces químicos. En la Figura 2.5 se muestran ejemplos de elementos químicamente inertes y reactivos.

La clave de la reactividad química está en la *regla de los ochos;* es decir, los átomos interactúan de tal forma que tendrán 8 electrones en su capa de valencia. La primera capa de electrones constituye una excepción a esta regla, porque está "llena" cuando contiene 2 electrones.

Como puedes suponer, los átomos deben acercarse mucho los unos a los otros para que sus electrones interactúen. De hecho, sus capas exteriores deben solaparse.

Tipos de enlaces químicos

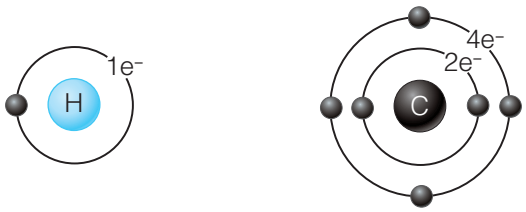
Enlaces iónicos Los **enlaces iónicos** se forman cuando los electrones se transfieren totalmente de un átomo a otro. Los átomos son eléctricamente neutros, pero cuando ganan o pierden electrones durante la creación de enlaces sus cargas positivas y negativas dejan de estar en equilibrio y aparecen partículas cargadas llamadas **iones.** Cuando un átomo gana un electrón,



Helio (He)
($2p^+$; $2n^0$; $2e^-$)

Neón (Ne)
($10p^+$; $10n^0$; $10e^-$)

(a) Elementos químicamente inertes (capa de valencia completa)

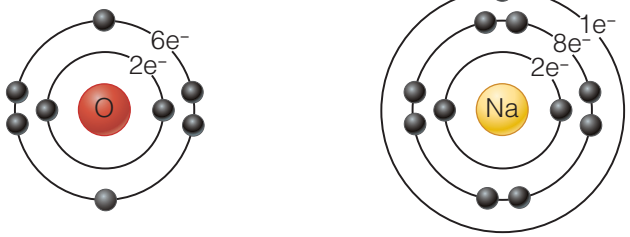


Hidrógeno (H)
($1p^+$; $0n^0$; $1e^-$)

Carbono (C)
($6p^+$; $6n^0$; $6e^-$)

(b) Elementos químicamente activos (capa de valencia incompleta)

FIGURA 2.5 Elementos químicamente inertes y reactivos. (a) El helio y el neón son químicamente inertes porque en cada caso la capa de valencia (o nivel de energía) más externa está totalmente ocupada por electrones. **(b)** Los elementos en los que la capa de valencia está incompleta son químicamente reactivos y tienden a interactuar con otros átomos para ganar, perder o compartir electrones para llenar sus capas de valencia. (Para simplificar los diagramas, cada núcleo atómico se muestra como un círculo con el símbolo del átomo escrito en él. No se muestran los protones ni los neutrones).



Oxígeno (O)
($8p^+$; $8n^0$; $8e^-$)

Sodio (Na)
($11p^+$; $12n^0$; $11e^-$)

adquiere una carga negativa neta porque entonces tiene más electrones que protones. Los iones cargados negativamente se llaman *aniones*. Cuando un átomo pierde un electrón, se vuelve un ión cargado positivamente, es decir un *catión,* porque ahora posee más protones que electrones. (Te puede ayudar a recordar que un catión es un ión cargado positivamente si piensas que la "t" de catión es un signo positivo [+]). Tanto los aniones como los cationes resultan de la formación de un enlace iónico. Los iones recientemente creados tienden a estar muy juntos debido al hecho de que las cargas opuestas se atraen.

La formación de cloruro sódico (NaCl), que es la sal común, es un buen ejemplo de enlace iónico. Como muestra la Figura 2.6, la capa de valencia del sodio contiene sólo 1 electrón y, por tanto, está incompleta. Sin embargo, si este único electrón se "pierde" para ir a otro átomo, la capa 2, que contiene 8 electrones, se transforma en la capa de valencia; así, el sodio se convierte en un catión (Na^+) y logra la estabilidad. El cloro necesita sólo 1 electrón para llenar su capa de valencia, y es mucho más fácil ganar 1 electrón (formando Cl^-) que intentar "ceder" 7. Por tanto, la situación ideal es que el sodio done el electrón de su capa de valencia al cloro. Esto es exactamente lo que ocurre en la interacción entre estos dos átomos. El cloruro sódico y la mayoría de los demás compuestos formados por enlaces iónicos entran en la categoría general de sustancias químicas llamadas **sales.**

Enlaces covalentes Para que los átomos sean estables, no es necesario que los electrones se ganen o se pierdan completamente. En su lugar, pueden ser compartidos de tal manera que cada átomo sea capaz de llenar su capa de valencia por lo menos durante parte del tiempo.

Las moléculas en las que los átomos comparten electrones se denominan *moléculas covalentes,* y sus enlaces son los **enlaces covalentes** (*co* = con; *valente* = que tiene poder). Por ejemplo, el hidrógeno, con su único electrón, puede volverse estable si llena su capa de valencia (nivel 1 de energía) compartiendo un par de electrones (el suyo propio y uno procedente de otro átomo). Como muestra la Figura 2.7a de la página 38, un átomo de hidrógeno puede compartir un par de electrones con otro átomo de hidrógeno para formar una molécula de gas hidrógeno. El par de electrones compartidos orbita por toda la molécula y satisface las necesidades de estabilidad de los dos átomos de hidrógeno. De igual modo, 2 átomos de oxígeno, cada uno con 6 electrones en su capa de valencia, pueden compartir 2 pares de electrones (formar enlaces dobles) con el otro (Figura 2.7b) para formar una molécula de gas oxígeno (O_2).

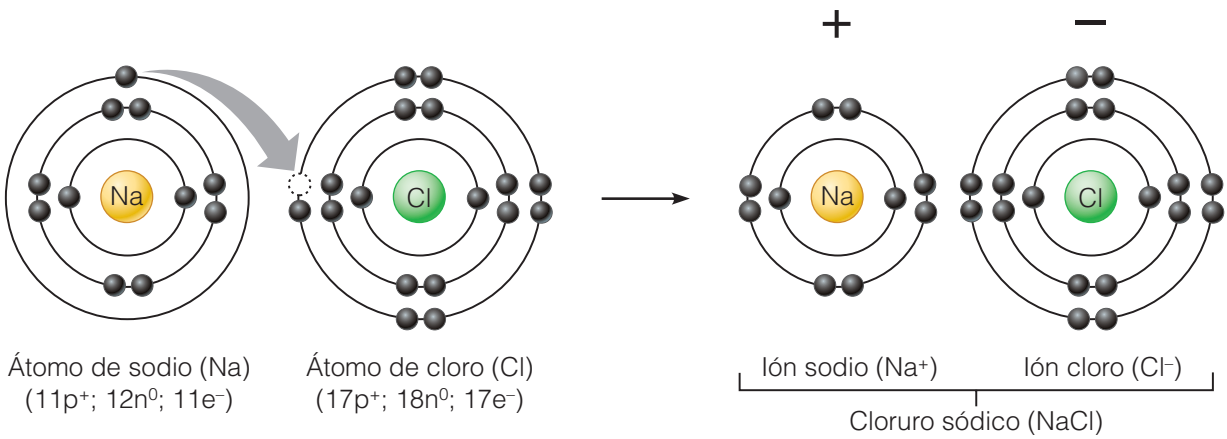


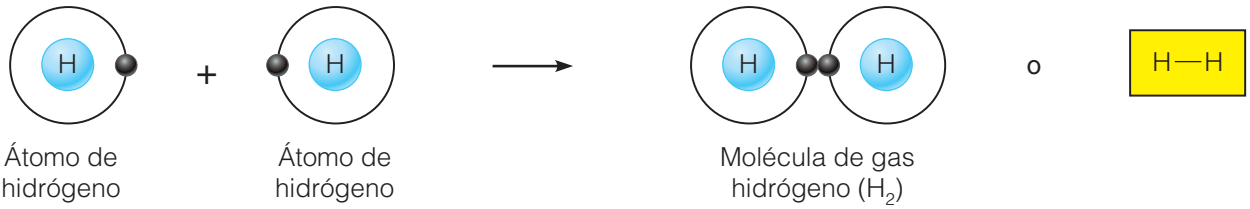
FIGURA 2.6 Formación de un enlace iónico. Tanto los átomos de sodio como los de cloro son químicamente reactivos porque sus capas de valencia están incompletas. El sodio gana estabilidad perdiendo un electrón, mientras que el cloro se vuelve estable ganándolo. Después de la transferencia de electrones, el sodio se transforma en un ión sodio (Na^+) y el cloro en un ión cloro (Cl^-). Los iones con cargas opuestas se atraen entre sí.

Un átomo de hidrógeno también puede compartir su electrón con un átomo de otro elemento diferente. El carbono tiene 4 electrones en la capa de valencia, pero necesita 8 para conseguir la estabilidad. Como muestra la Figura 2.7c, cuando se forma metano (CH_4), el carbono comparte 4 pares de electrones con 4 átomos de hidrógeno (1 par con cada uno de los átomos de hidrógeno). Debido a que los electrones compartidos orbitan y "pertenecen" a toda la molécula, cada átomo tiene una capa de valencia completa durante el tiempo suficiente como para satisfacer sus necesidades de estabilidad. En las moléculas covalentes descritas hasta ahora, los electrones se han compartido *equitativamente* entre los átomos de la molécula. Tales moléculas se denominan *moléculas de enlace covalente no polar*. Sin embargo, los electrones no se comparten por igual en todos los casos. Cuando se crean enlaces covalentes, la molécula resultante siempre tiene una forma tridimensional definida. La forma de una molécula desempeña un papel primordial en la determinación de las moléculas o átomos con que puede interaccionar. La forma también puede determinar que se compartan pares de electrones desiguales. Los dos ejemplos siguientes ilustran este principio.

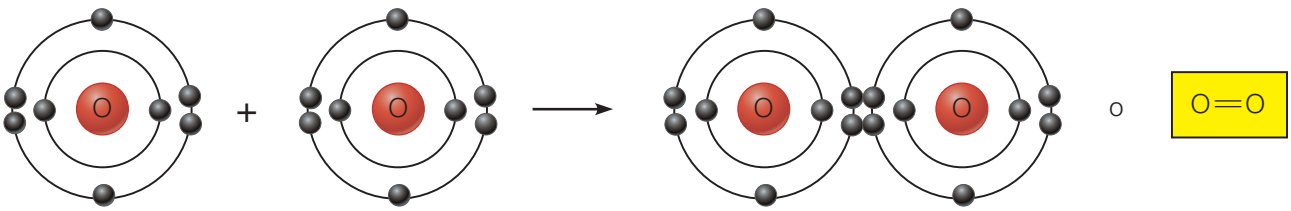
El dióxido de carbono se forma cuando un átomo de carbono comparte sus 4 electrones de valencia con 2 átomos de oxígeno. El oxígeno es un átomo con gran necesidad de electrones y atrae a los electrones compartidos de modo mucho más fuerte que lo que el carbono. No obstante, debido a que la molécula de dióxido de carbono es lineal (O=C=O), el poder de atracción de un átomo de oxígeno contrarresta el del otro (Figura 2.8a). Como resultado, los pares de electrones se comparten equitativamente orbitando por la molécula entera y el dióxido de carbono es una molécula no polar.

Una molécula de agua se forma cuando 2 átomos de hidrógeno se unen por enlace covalente en un sólo átomo de oxígeno. Cada átomo de hidrógeno comparte un par de electrones con el átomo de oxígeno y, de nuevo, el oxígeno tiene la mayor capacidad de atraer electrones. Pero, en este caso, la molécula formada tiene la forma de una V (H\O/H). Los dos átomos de hidrógeno se sitúan en un polo de la molécula y el átomo de oxígeno en el otro (Figura 2.8b). Como consecuencia, los pares de electrones no se comparten equitativamente y pasan más tiempo cerca del átomo de oxígeno, haciendo que ese polo de la molécula se vuelva ligeramente más negativo (indicado por δ^-) y el polo de los hidrógenos más positivo (indicado por δ^+). En otras palabras, se ha formado una *molécula polar*, es decir, una molécula con dos *polos* cargados.

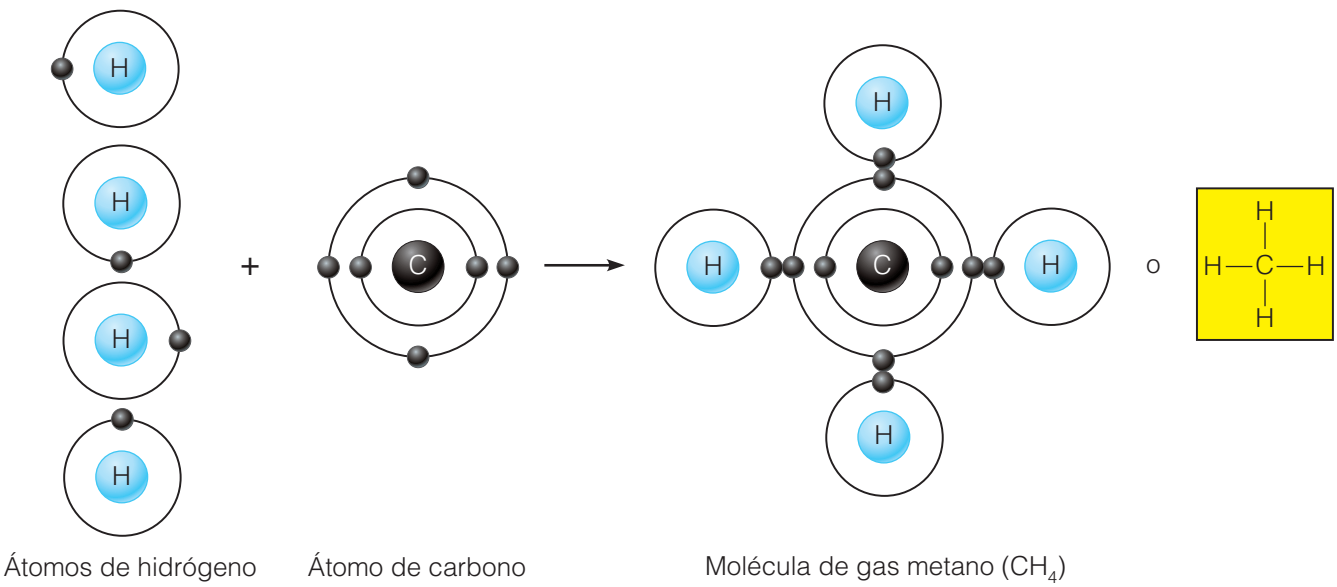
Las moléculas polares se orientan hacia otras moléculas polares o partículas cargadas (iones, proteínas y otros) y juegan un papel importante en las reacciones químicas que tienen lugar en las células del organismo. Como los tejidos corporales son de un 60 a un 80% agua, el hecho de que el agua sea un molécula polar es especialmente significativo, como describiremos más adelante.



(a) Formación de un enlace covalente simple



(b) Formación de un enlace covalente doble

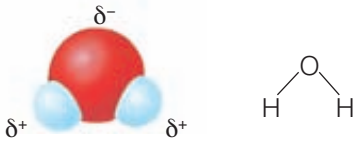


(c) Formación de cuatro enlaces covalentes simples

FIGURA 2.7 **Formación de enlaces covalentes. (a)** Formación de un enlace covalente simple entre dos átomos de hidrógeno para formar una molécula de gas hidrógeno. **(b)** Formación de una molécula de gas oxígeno. Cada átomo de oxígeno comparte dos pares de electrones con su pareja; así se forma un enlace covalente doble. **(c)** Formación de una molécula de gas metano. Un átomo de carbono comparte cuatro pares de electrones con cuatro átomos de hidrógeno. En los diagramas de moléculas que se muestran en amarillo a la derecha de la hoja, se indica cada par de electrones compartidos por una sola línea entre los átomos compartidos.

P *¿Cuál de estas moléculas, (a) o (b), es una molécula polar?*

(a) Dióxido de carbono (CO_2)

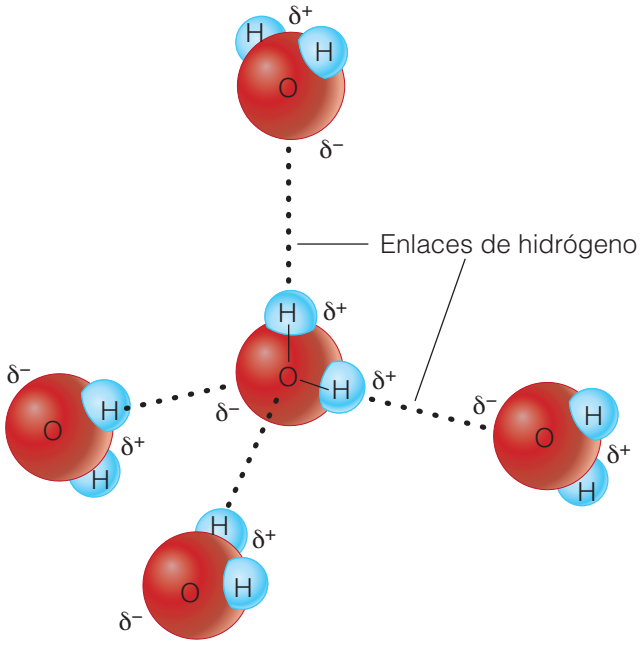


(b) Agua (H_2O)

FIGURA 2.8 **Modelos moleculares que ilustran la estructura tridimensional del dióxido de carbono y las moléculas de agua.**

Enlaces de hidrógeno Los **enlaces de hidrógeno** son enlaces extremadamente débiles formados cuando un átomo de hidrógeno unido a un átomo de nitrógeno o de oxígeno necesitado de electrones es atraído por otro átomo que necesita electrones y el átomo de hidrógeno forma un "puente" entre ellos. La formación de enlaces de hidrógeno es común entre moléculas de agua (Figura 2.9a) y se refleja en su tensión superficial. Ésta ocasiona que se formen gotas cuando se asienta sobre una superficie y permite que ciertos insectos, como los zapateros (Figura 2.9b), puedan caminar sobre el agua mientras vayan desplazándose suavemente.

Los enlaces de hidrógeno también son importantes *enlaces intramoleculares;* es decir, que ayudan a unir distintas partes de la misma molécula en una forma tridimensional especial. Estos enlaces, bastante frágiles, son muy importantes par ayudar a mantener la estructura de las moléculas de proteína, que son moléculas funcionales esenciales y materiales de construcción del organismo.



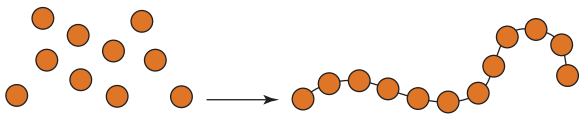
(a)

(b)

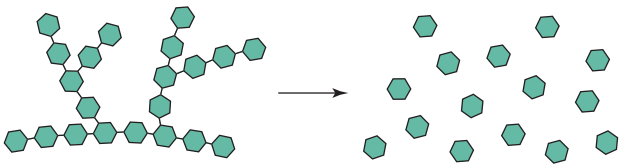
FIGURA 2.9 **Enlaces de hidrógeno entre moléculas polares de agua. (a)** Los polos ligeramente positivos (indicados por δ^+) de las moléculas de agua se alinean con los polos ligeramente negativos (indicados por δ^-) de otras moléculas de agua. **(b)** La tensión superficial del agua, resultado de la fuerza combinada de sus enlaces de hidrógeno, posibilita que un zapatero pueda caminar por encima del agua de un estanque sin romper la superficie.

R *El agua es una molécula polar.*

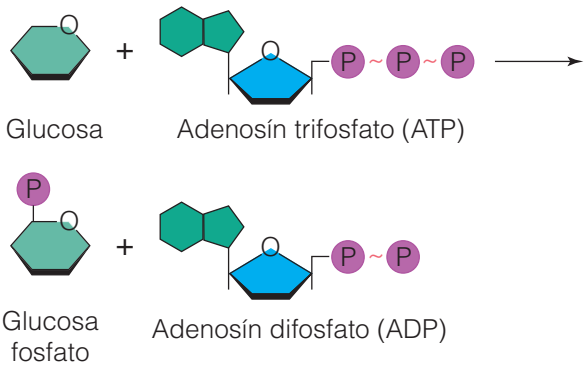
P *En todas las reacciones mostradas se han alterado los enlaces químicos. ¿Qué partícula subatómica está implicada en estas modificaciones?*



(a) Ejemplo de una reacción de síntesis: los aminoácidos se unen para formar una molécula de proteína



(b) Ejemplo de una reacción de descomposición: rotura del glocógeno para liberar unidades de glucosa



(c) Ejemplo de una reacción de intercambio: el ATP transfiere su propio fosfato terminal a la glucosa para formar glucosa fosfato

FIGURA 2.10 Pautas de las reacciones químicas. **(a)** En reacciones de síntesis, las partículas más pequeñas están unidas por enlaces para formar moléculas más grandes y complejas. **(b)** Las reacciones de descomposición implican la rotura de los enlaces. **(c)** En reacciones de intercambio, los enlaces se crean y se destruyen.

Pautas de las reacciones químicas

Las reacciones químicas implican la creación o la rotura de enlaces entre átomos. El número total de átomos se mantiene igual, pero los átomos aparecen en nuevas combinaciones. La mayoría de las reacciones químicas presentan una de las pautas descritas a continuación.

Reacciones de síntesis

Las **reacciones de síntesis** tienen lugar cuando dos o más átomos o moléculas se combinan para formar una molécula mayor y más compleja que, simplemente, se puede representar como

$$A + B \rightarrow AB$$

Las reacciones de síntesis siempre implican la formación de enlaces, lo cual utiliza energía y, por ello, son reacciones que absorben energía.

Las reacciones de síntesis son la base de todas las actividades anabólicas (constructivas) que tienen lugar en las células del organismo. Son especialmente importantes para el crecimiento y la reparación de los tejidos gastados o dañados. Como muestra la Figura 2.10a, la formación de una molécula de proteína por la unión de aminoácidos en cadenas largas es una reacción de síntesis.

Reacciones de descomposición

Las **reacciones de descomposición** ocurren cuando se degrada una molécula en moléculas más pequeñas, en átomos o en iones y puede indicarse como

$$AB \rightarrow A + B$$

En esencia, las reacciones de descomposición son reacciones de síntesis a la inversa. Siempre se rompen enlaces y los productos de estas reacciones son más pequeños y sencillos que las moléculas originales. Al romperse enlaces, se libera energía.

Las reacciones de descomposición son la base de todos los procesos catabólicos (destructivos) que ocurren en las células del organismo, es decir, son reacciones que degradan moléculas. Como ejemplos de reacciones de descomposición que tienen lugar en el organismo, se incluyen la digestión de alimentos hasta reducirlos a sus componentes básicos y la rotura del glucógeno (una gran molécula de hidrato de carbono almacenada en el hígado) para liberar glucosa (Figura 2.10b) cuando los niveles de azúcar en sangre empiezan a disminuir.

Reacciones de intercambio

Las **reacciones de intercambio** implican tanto reacciones de síntesis como reacciones de descomposición; los enlaces se crean y se destruyen. Durante las reacciones de

R *Los electrones*

TABLA 2.4 Factores que aumentan la velocidad de las reacciones químicas

Factor	Mecanismo para aumentar el número de colisiones
↑ temperatura	↑ la energía cinética de las moléculas que, por su lado, se mueven más rápidamente y chocan con más fuerza.
↑ concentración de partículas reactivas	↑ el número de colisiones debido a un mayor número de partículas reactivas.
↓ tamaño de las partículas	Las partículas menores tienen más energía cinética y se mueven más deprisa que las partículas grandes. Por eso toman parte en más colisiones.
Presencia de Catalizadores	↑ la cantidad de energía que las moléculas necesitan para interactuar manteniendo los reactantes en las posiciones adecuadas para interactuar (véase la pág. 52).

intercambio, se realiza un cambio entre las partes de las moléculas (como un cambio de pareja en un baile) y se crean moléculas diferentes. Así, una reacción de intercambio se suele indicar como

$$AB + C \rightarrow AC + B \text{ y } AB + CD \rightarrow AD + CB$$

Una reacción de intercambio tiene lugar, por ejemplo, cuando el ATP reacciona con la glucosa y transfiere su grupo fosfato terminal a la glucosa, formando glucosa-fosfato (Figura 2.10c). Al mismo tiempo, el ATP se convierte en ADP. Esta importante reacción, que ocurre siempre que la glucosa entra en una célula del organismo, atrapa de manera efectiva la molécula de glucosa, que funciona como combustible, dentro de la célula.

Independientemente del tipo de reacción de que se trate, la mayoría de las reacciones químicas son reversibles. Si se pueden crear enlaces químicos también pueden romperse, y viceversa. La reversibilidad se indica con una flecha doble. Cuando las flechas difieren en longitud, la más larga indica la reacción más rápida o la dirección principal en la que tiene lugar la reacción. Por ejemplo, en la reacción

$$A + B \rightleftharpoons AB$$

la reacción que va hacia la derecha ocurre más rápidamente y, con el tiempo, AB se irá acumulando mientras A y B irán disminuyendo en cantidad. Si las flechas tienen igual longitud, la reacción está en equilibrio químico. Así, en

$$A + B \rightleftharpoons AB$$

para cada molécula de AB que se crea, se destruye otra de AB para liberar A y B.

Factores que influyen en la velocidad de las reacciones químicas

Para que los átomos y las moléculas reaccionen químicamente, deben colisionar con fuerza, para que los electrones de sus capas de valencia puedan interactuar. La creación y la destrucción de enlaces no puede realizarse a distancia. La Tabla 2.4 señala varios factores que influyen en la energía cinética y, por ello, en la velocidad de las partículas y en la fuerza de las colisiones.

¿LO HAS ENTENDIDO?

10. ¿En qué difieren los enlaces iónicos de los enlaces covalentes?
11. ¿Qué tipo de enlace se forma entre las moléculas de agua?
12. ¿Qué nombre recibe el tipo de reacción química en el que una molécula se rompe en moléculas más pequeñas o átomos?
13. ¿Cómo se puede indicar que una reacción química es reversible?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Bioquímica: la composición química de la materia viva

Todas las sustancias químicas que se encuentran en el organismo están incluidas en una de las clases principales de moléculas: o son compuestos orgánicos, o lo son

inorgánicos. La clase de compuesto sólo está determinada por la presencia o ausencia de carbono. Con unas pocas excepciones que no han podido ser explicadas hasta ahora (como el gas dióxido de carbono [CO_2] y el monóxido de carbono [CO]), los **compuestos inorgánicos** no tienen carbono y tienden a ser moléculas pequeñas y sencillas. Como ejemplos de compuestos inorgánicos que se encuentran en el organismo, podemos citar: el *agua,* las *sales* y muchos (aunque no todos) los *ácidos* y las *bases*.

Los **compuestos orgánicos** contienen carbono. Los compuestos orgánicos más importantes del organismo son: los *hidratos de carbono,* los *lípidos,* las *proteínas* y los *ácidos nucleicos*. Todos los compuestos orgánicos son moléculas bastante (o muy) grandes con enlaces covalentes.

Ambos compuestos, orgánicos e inorgánicos, son igualmente fundamentales para la vida. Intentar elegir el más valioso es como intentar decidir si para un coche es más importante el sistema de encendido o el motor.

Compuestos inorgánicos

El agua

El agua es el compuesto inorgánico más abundante en el organismo. Es responsable de dos tercios del peso corporal. Entre las propiedades que hacen que el agua sea tan vital, se encuentran las siguientes:

1. **Gran capacidad calórica.** El agua tiene una *gran capacidad calórica,* es decir, absorbe y libera grandes cantidades de calor antes de que su temperatura cambie apreciablemente. Así, evita cambios bruscos de la temperatura corporal que, de lo contrario, se derivarían de una intensa exposición al sol, de vientos invernales muy fríos o de acontecimientos internos (como una actividad muscular muy vigorosa) que liberan gran cantidad de calor.
2. **Propiedades de polaridad/como disolvente.** Debido a su polaridad, el agua es un disolvente excelente, de hecho, se la suele llamar el "disolvente universal". Un *disolvente* es un líquido o un gas en el que cantidades más pequeñas de otras sustancias, llamadas *solutos* (que pueden ser gases, líquidos o sólidos) pueden ser disueltas o suspendidas. La mezcla resultante se denomina *solución* cuando las partículas del soluto son diminutas, y *suspensión* cuando son bastante grandes. Las mezclas translúcidas con partículas de soluto de tamaño medio reciben el nombre de *coloide*.

   Las pequeñas sustancias químicas reactivas, como las sales, los ácidos y las bases, se disuelven fácilmente en el agua y se distribuyen de manera uniforme. Las moléculas no pueden reaccionar químicamente a menos que estén en solución, de modo que todas las reacciones químicas que ocurren en el organismo dependen virtualmente de las propiedades disolventes del agua.

   Debido a que los nutrientes, los gases de respiración (oxígeno y dióxido de carbono) y las sustancias de deshecho pueden ser disueltos en agua, ésta puede actuar como medio de transporte e intercambio en el organismo.

   Por ejemplo, todas estas sustancias son transportadas de una parte del cuerpo a otra mediante el plasma sanguíneo y son intercambiadas entre la sangre y las células de los tejidos pasando a través del líquido intersticial. Las moléculas especializadas que lubrican el organismo (como el moco) también utilizan el agua como disolvente y los líquidos sinoviales "lubrican" los extremos de los huesos cuando se mueven dentro de las cavidades de las articulaciones.
3. **Reactividad química.** El agua es un *reactante* importante en algunos tipos de reacciones químicas. Por ejemplo, para digerir alimentos o degradar moléculas biológicas, se añaden moléculas de agua a los extremos de las moléculas más grandes. Tales reacciones reciben el nombre de *reacciones de hidrólisis,* un término que específicamente reconoce este papel del agua (*hidro* = agua, *lis* = rotura).
4. **Amortiguación.** El agua también obedece a una función protectora. En forma de líquido cefalorraquídeo, el agua forma una amortiguación alrededor del cerebro que ayuda a protegerlo de traumas físicos. El líquido amniótico, que rodea al feto en desarrollo dentro del cuerpo de la madre, juega un papel similar al proteger al feto.

Las sales

Una **sal** es un compuesto iónico que contiene cationes distintos del H^+ y aniones distintos del ión hidróxilo (OH^-). En el organismo suelen encontrarse las sales de muchos elementos metálicos, pero las más abundantes son las que contienen calcio y fósforo, presentes principalmente en dientes y huesos. Cuando se disuelven en los líquidos del organismo, las sales se descomponen en sus iones. Este proceso, llamado *disociación*, ocurre con bastante facilidad porque los iones ya se han formado. Todo lo que resta es separar los iones. Esto lo consiguen las moléculas de agua polares, que se orientan con sus extremos ligeramente negativos hacia los cationes y con los ligeramente positivos hacia los aniones, superando así la atracción entre ellas (Figura 2.11).

Las sales, tanto en sus formas iónicas como en combinación con otros elementos, son vitales para el fun-

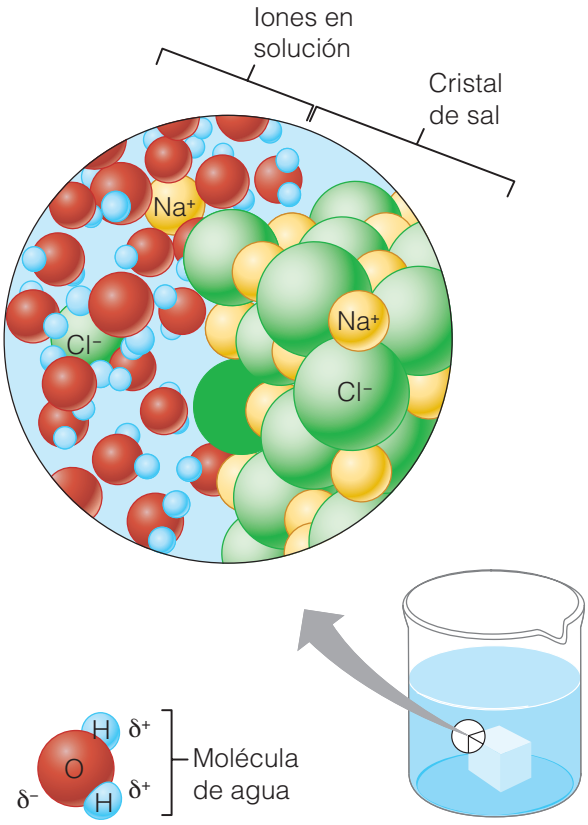


FIGURA 2.11 Disociación de una sal en agua. Los extremos ligeramente negativos de las moléculas de agua (δ^-) son atraídos hacia los Na^+, mientras que los extremos ligeramente positivos de las moléculas de agua (δ^+) se orientan hacia los Cl^-, haciendo que los iones del cristal de sal se separen.

cionamiento del organismo. Por ejemplo, los iones de sodio y de potasio son esenciales para los impulsos nerviosos, y el hierro forma parte de la molécula de hemoglobina que transporta oxígeno en los glóbulos rojos.

Dado que los iones son partículas cargadas, todas las sales son **electrolitos,** sustancias que conducen una corriente eléctrica en solución. Cuando el equilibrio iónico (o electrolítico) se altera gravemente, podemos decir que nada funciona en el cuerpo. Las funciones de los elementos que se encuentran en la sales del organismo se resumen en la Tabla 2.1 (en la pág. 30).

Ácidos y bases

Como las sales, los ácidos y las bases son electrolitos. Es decir, se ionizan y luego se disocian en agua, pudiendo conducir, por tanto, una corriente eléctrica.

Características de los ácidos Los **ácidos** tienen un sabor agrio y pueden disolver muchos metales o "quemar" un agujero en la alfombra. Pero la definición más útil de un ácido es que se trata de una sustancia que puede liberar *iones de hidrógeno* (H^+) en cantidades detectables. Como un ión de hidrógeno es esencialmente un núcleo de hidrógeno (un protón "desnudo"), los ácidos también se definen como **dadores de protones.**

Cuando los ácidos se disuelven en agua, liberan iones de hidrógeno y algunos aniones. Los aniones carecen de importancia, es la liberación de protones lo que determina los efectos de un ácido en el entorno. La ionización del ácido clorhídrico (un ácido producido por las células del estómago que ayuda a hacer la digestión) se muestra en la siguiente ecuación:

$$\underset{\text{(ácido clorhídrico)}}{HCl} \rightarrow \underset{\text{(protón)}}{H^+} + \underset{\text{(anión)}}{Cl^-}$$

Otros ácidos que se encuentran o se producen en el organismo son el ácido acético (el componente ácido del vinagre) y el ácido carbónico.

Los ácidos, como el ácido clorhídrico, que ionizan completamente y liberan todos sus protones reciben el nombre de *ácidos fuertes*. Los ácidos que no se ionizan completamente, como el acético y el carbónico, se denominan *ácidos débiles*. Por ejemplo, cuando el ácido carbónico se disuelve en el agua, sólo algunas de sus moléculas se ionizan para liberar H^+.

$$\underset{\text{(ácido carbónico)}}{H_2CO_3} \rightarrow \underset{\text{(protón)}}{H^+} + \underset{\text{(anión)}}{HCO_3^-} + \underset{\text{(ácido carbónico}}{H_2CO_3}$$

Características de las bases Las **bases** tienen un sabor amargo, al tacto se notan resbaladizas y son **receptores de protones.** Los hidróxidos son bases inorgánicas comunes.

Como los ácidos, los hidróxidos se ionizan y se disocian en agua pero, en este caso, se liberan el *ión hidróxilo* (OH^-) y algunos cationes. La ionización del hidróxido de sodio (NaOH), conocido comúnmente como lejía, es así:

$$\underset{\text{(hidróxido sódico)}}{NaOH} \rightarrow \underset{\text{(catión)}}{Na^+} + \underset{\text{(ión hidróxilo)}}{OH^-}$$

El ión hidróxilo es un buscador de protones (H^+) ávido y cualquier base que lo contenga se considera una base fuerte. Por el contrario, el *ión bicarbonato* (HCO_3^-), una base importante de la sangre, es una base bastante débil.

P *¿Qué ión es responsable de aumentar la acidez?*

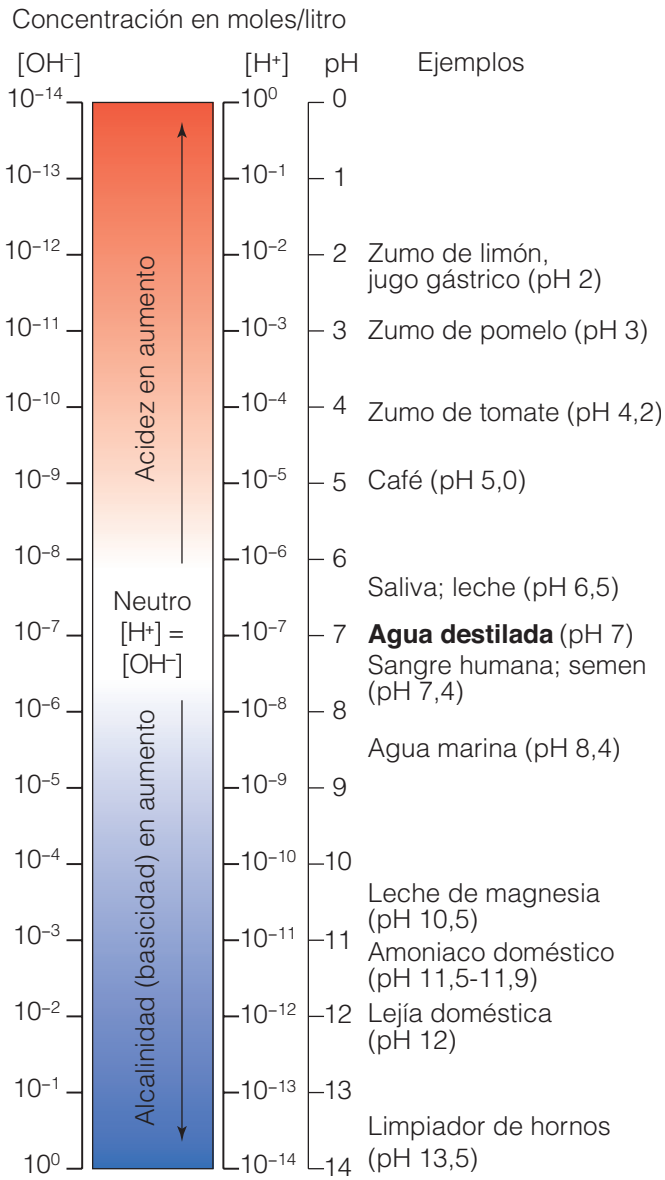


FIGURA 2.12 **La escala de pH y los valores de pH de sustancias representativas.** La escala de pH está basada en el número de iones de hidrógeno en solución. La concentración de iones hidrógeno [H^+] (expresada en moles por litro) y la correspondiente concentración de iones hidróxilo [OH^-] están indicadas para cada valor del pH indicado. A un pH de 7, [H^+] = [OH^-] y la solución es neutra. Una solución con un pH por debajo de 7 es ácida, mientras que si está por encima de 7 es básica o alcalina.

R *El ión hidrógeno.*

Cuando los ácidos y las bases están mezclados, reaccionan unos con otros (en una reacción de intercambio) para formar agua y una sal:

$$\underset{\text{(ácido)}}{HCl} + \underset{\text{(base)}}{NaOH} \rightarrow \underset{\text{(agua)}}{H_2O} + \underset{\text{(sal)}}{NaCl}$$

Este tipo de reacción de intercambio, en la que un ácido y una base interactúan, se denomina más específicamente **reacción de neutralización.**

pH: concentraciones ácido-base La concentración relativa de iones de hidrógeno (e hidróxilo) en varios líquidos corporales se mide en unidades de concentración llamadas unidades de **pH.** La idea de una escala de pH fue concebida en 1909 por un bioquímico danés (y cervecero a tiempo parcial) llamado Sørensen y está basada en el número de protones en solución expresados en términos de moles por litro. (El *mol* es una unidad de concentración, su definición precisa no nos concierne aquí). La escala de pH va de 0 a 14 (Figura 2.12) y cada cambio sucesivo de 1 unidad de pH representa una modificación de 10 veces la concentración en iones hidrógeno.

Con un pH de 7, la mitad de la escala, el número de iones hidrógeno iguala exactamente el número de iones hidróxilo y la solución es neutra, es decir, no es ni ácida ni básica. Las soluciones cuyo pH es menor de 7 son ácidas porque los iones hidrógeno sobrepasan en número a los iones hidróxilo. Una solución cuyo pH sea 6 tendrá 10 veces más iones hidrógeno que una solución con un pH de 7, y un pH de 3 indica un aumento de la concentración de iones hidrógeno de 10.000 veces (10 × 10 × 10 × 10). Las soluciones cuyo pH es mayor de 7 son alcalinas o básicas, y las soluciones que tengan un 8 y un 12 tienen 1/10 y 1/100.000 (respectivamente) el número de iones hidrógeno presentes en una solución con un pH de 7.

Las células vivas son extraordinariamente sensibles a cambios, incluso ligeros, en el pH. El equilibrio ácido-base está cuidadosamente regulado por los riñones, los pulmones y varias sustancias químicas llamadas ***buffers*** o **soluciones tampón,** presentes en los líquidos del organismo. Como se describe con mayor detalle en el Capítulo 15, los ácidos y las bases débiles son componentes importantes de los sistemas tampón o *buffers* del cuerpo, que actúan para mantener la estabilidad del pH captando el exceso de iones hidrógeno o hidróxilo.

Debido a que la sangre entra en estrecho contacto con casi todas las células del organismo, la regulación de su pH es especialmente crítica. Normalmente, el pH de la sangre varía poco, de 7,35 a 7,45. Cuando pasa más de pocas décimas de este límite, la muerte se convierte en una posibilidad real. Aunque hay cientos de

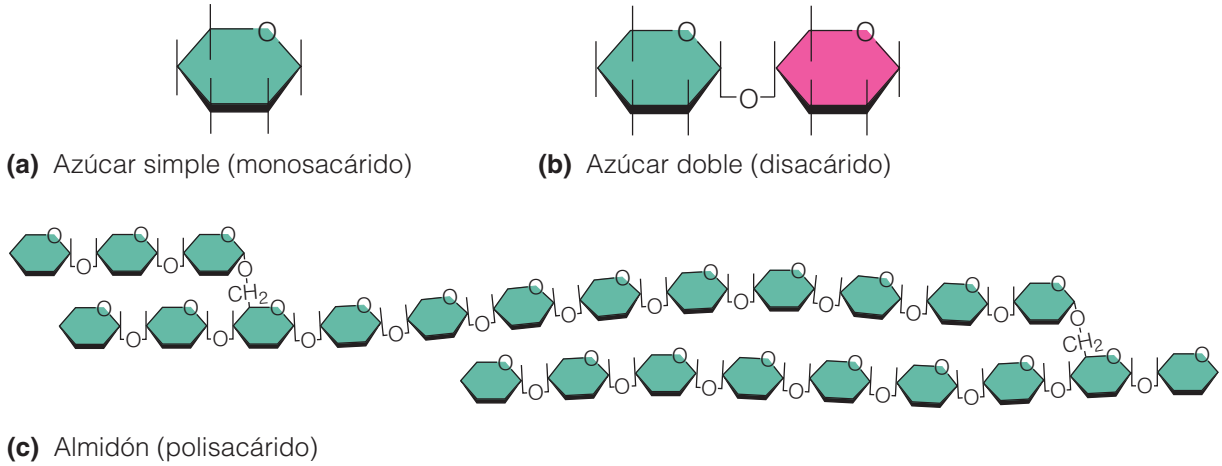


FIGURA 2.13 **Hidratos de carbono. (a)** La estructura generalizada de un monosacárido. **(b)** y **(c)** Las estructuras básicas de un disacárido y de un monosacárido, respectivamente.

ejemplos que se podrían dar para ilustrar este punto, sólo proporcionaremos uno muy importante: cuando el pH de la sangre empieza a descender hacia la zona ácida, la cantidad de oxígeno vital que la hemoglobina de la sangre puede transportar a las células del organismo empieza a caer rápidamente hasta niveles peligrosamente bajos. Los valores aproximados de pH de varios líquidos del cuerpo y de una serie de sustancias que solemos ingerir aparecen en la Figura 2.12.

¿LO HAS ENTENDIDO?

14. ¿Qué propiedad del agua evita cambios rápidos de la temperatura corporal?
15. ¿Cuál proporciona protones: un ácido o una base?
16. Un pH de 11, ¿es ácido o básico?
17. La bioquímica es la química "húmeda". ¿Qué significa esta afirmación?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Compuestos orgánicos

Hidratos de carbono

Los **hidratos de carbono,** que incluyen los azúcares y los almidones, contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Con ligeras variaciones, los átomos de hidrógeno y oxígeno aparecen en la misma proporción que en el agua, es decir, 2 átomos de hidrógeno para cada uno de oxígeno. Esto se refleja en la palabra *hidrato de carbono,* que significa "carbono hidratado", y en las fórmulas moleculares de los azúcares. Por ejemplo, la glucosa es $C_6H_{12}O_6$ y la ribosa es $C_5H_{10}O_5$.

Los hidratos de carbono se clasifican, según su tamaño, en monosacáridos, disacáridos o polisacáridos. Como los monosacáridos se unen para formar las moléculas de los otros dos grupos, son las unidades estructurales, o componentes básicos, de los hidratos de carbono.

Monosacáridos **Monosacárido** significa un (*mono*) azúcar (*sacárido*) y, por ello, a los monosacáridos se les suele denominar también *azúcares simples*. Son estructuras de cadena simple o de anillo único, que contienen de 3 a 7 átomos de carbono (Figura 2.13a).

Los monosacáridos más importantes del organismo son la glucosa, la fructosa, la galactosa, la ribosa y la desoxirribosa. La **glucosa,** también conocida como el *azúcar de la sangre,* es el combustible celular universal. La *fructosa* y la *galactosa* se convierten en glucosa para su uso por las células. La *ribosa* y la *desoxirribosa* forman parte de la estructura de los ácidos nucleicos, otro grupo de moléculas orgánicas.

Disacáridos Los **disacáridos,** o *azúcares dobles* (Figura 2.13b), se forman cuando dos azúcares simples se unen mediante la reacción de síntesis conocida como **síntesis por deshidratación.** En esta reacción, se pierde una molécula de agua durante la formación del enlace (Figura 2.14).

Algunos de los disacáridos importantes de la dieta alimenticia son la *sacarosa* (glucosa-fructosa), como el azúcar de caña; la *lactosa* (glucosa-galactosa), que se encuentra en la leche; y la *maltosa* (glucosa-glucosa), o azúcar de malta. Debido a que los azúcares dobles son demasiado grandes para poder pasar a través de

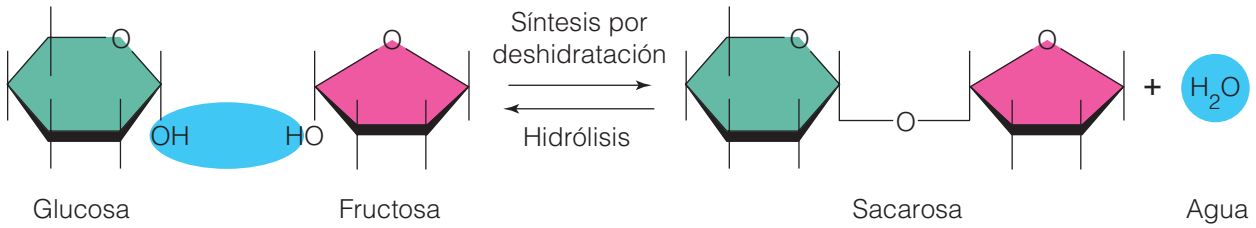


FIGURA 2.14 Síntesis por deshidratación e hidrólisis de una molécula de sacarosa. En la reacción hacia la derecha (la reacción de síntesis por deshidratación), la glucosa y la fructosa se unen gracias a un proceso que implica la eliminación de una molécula de agua en el lugar de formación de los enlaces. El disacárido resultante es sacarosa. La sacarosa se degrada en sus unidades más simples cuando la reacción cambia de sentido (hacia la izquierda). En esta reacción de hidrólisis, se debe añadir una molécula de agua al enlace para liberar los monosacáridos.

las membranas celulares, deben ser degradados (digeridos) en sus unidades de monosacáridos para ser absorbidos desde el tracto digestivo a la sangre. Esto se consigue gracias a la **hidrólisis.** Cuando se agrega una molécula de agua a cada enlace, el enlace se rompe, liberando las unidades de azúcares simples (véase la Figura 2.14).

Polisacáridos Las largas cadenas ramificadas de azúcares simples unidos se llaman **polisacáridos** ("muchos azúcares") (véase la Figura 2.13c). Por ser moléculas grandes e insolubles, son ideales como almacenamiento. Otra consecuencia de su tamaño es que carecen del sabor dulce de los azúcares simples y dobles.

Sólo dos polisacáridos, el almidón y el glucógeno, son de gran importancia para el organismo. El *almidón* es el polisacárido de almacenamiento formado por las plantas. Nosotros lo ingerimos en forma de alimentos "almidonados", como los cereales y los tubérculos (patatas y zanahorias, por ejemplo). El *glucógeno* es un polisacárido ligeramente más pequeño pero parecido, que se encuentra en los tejidos animales (principalmente en los músculos y el hígado). Como el almidón, está formado por unidades de glucosa unidas.

Los hidratos de carbono proporcionan una fuente de energía procedente de los alimentos fácil de usar por las células. La glucosa ocupa el primer lugar de este "menú celular". Cuando ésta se oxida (se combina con oxígeno) en un complicado conjunto de reacciones químicas, se degrada en dióxido de carbono y agua. Algo de la energía liberada cuando se rompen los enlaces de glucosa es atrapada en los enlaces de las muy energéticas moléculas ATP, la "moneda de cambio" energética de todas las células del organismo. Si no son necesarios inmediatamente para la síntesis de ATP, los hidratos de carbono procedentes de la dieta se convierten en glucógeno o en grasa y se almacenan. ¡Aquellos de nosotros que hayamos ganado peso por comer demasiados aperitivos ricos en hidratos de carbono, conocemos por experiencia propia este proceso de conversión!

Pequeñas cantidades de hidratos de carbono se utilizan con fines estructurales y representan del 1 al 2% de la masa celular. Algunos azúcares se encuentran en nuestros genes y otros están unidos a la superficie exterior de las membranas celulares, donde actúan como señales de tráfico para guiar las interacciones celulares.

Lípidos

Los **lípidos** son un grupo grande y diverso de compuestos orgánicos (Tabla 2.5). Entran en el organismo en forma de carnes veteadas de grasa, yemas de huevo, productos lácteos y aceites. Los lípidos más abundantes del organismo son los triglicéridos, los fosfolípidos y los esteroides. Como los hidratos de carbono, todos los lípidos contienen átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, pero en los lípidos, los átomos de carbono y de hidrógeno sobrepasan en número con mucho a los átomos de oxígeno, como ilustra la fórmula de una grasa típica llamada tristearina: $C_{57}H_{110}O_6$. La mayoría de los lípidos son insolubles en agua pero se disuelven muy bien en disolventes orgánicos como el alcohol y la acetona.

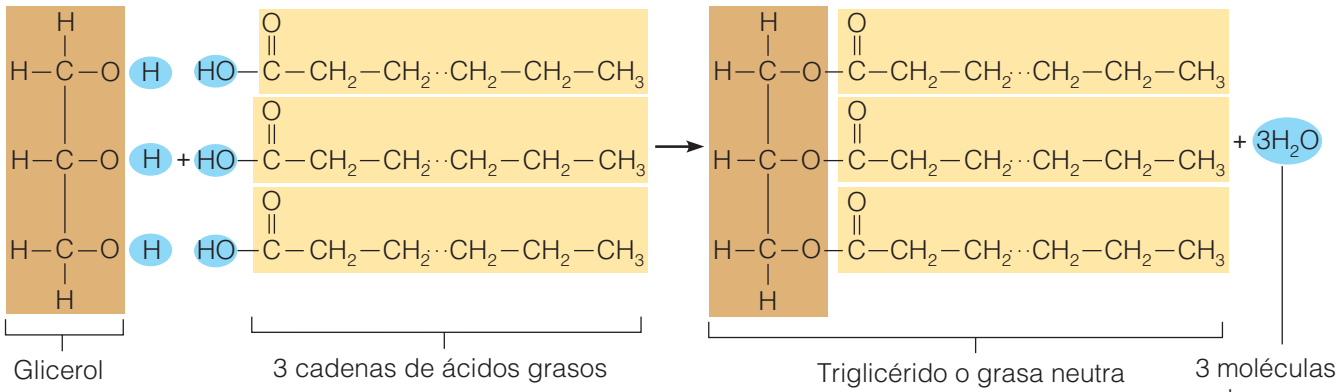
Triglicéridos Los **triglicéridos,** o **grasas neutras,** están formados por dos tipos de componentes básicos, los **ácidos grasos** y el **glicerol.** Su síntesis implica la unión de tres ácidos grasos a una sola molécula de glicerol. El resultado es una molécula con forma de E que recuerda las puntas de un tenedor (Figura 2.15a). Aunque el componente estructural de glicerol es el mismo en todas las grasas neutras, las cadenas de ácidos grasos varían; esta variación da como resultado los distintos tipos de grasas neutras.

La longitud de las cadenas de ácidos grasos de un triglicérido y su tipo de enlaces C–C determinan el grado

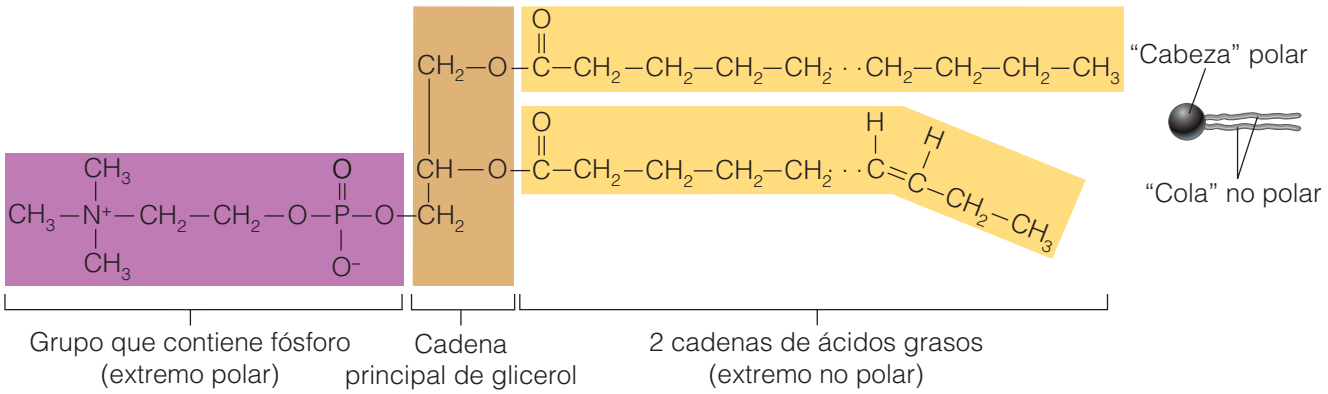
TABLA 2.5 Lípidos representativos que se encuentran en el organismo

Tipo de lípido	Ubicación/función
Grasas neutras (triglicéridos)	Se encuentran en los depósitos de grasa (tejido subcutáneo y alrededor de los órganos); protege y aísla los órganos del cuerpo; es la fuente principal de energía almacenada en el organismo.
Fosfolípidos (cefalina y otros)	Se encuentran en las membranas celulares; participan en el transporte de los lípidos en el plasma; abundan en el cerebro y en los tejidos del sistema nervioso en general, donde ayudan a aislar la sustancia blanca.
Esteroides	
Colesterol	Es la base de todos los esteroides del organismo.
Sales biliares	Producto obtenido a partir de la ruptura del colesterol; liberadas por el hígado al tracto digestivo, donde participan en la digestión y absorción de las grasas.
Vitamina D	Vitamina liposoluble que se produce en la piel por la exposición a la radiación UV (ultravioleta); necesaria para el correcto crecimiento y funcionamiento de los huesos.
Hormonas sexuales	Estrógeno y progesterona (hormonas femeninas) y testosterona (hormona masculina) producidas a partir del colesterol; son necesarias para la normal función reproductiva; su carencia produce esterilidad.
Corticosteroides (hormonas corticosuprarrenales)	El cortisol, un glucocorticoide, es una hormona antiestrés a largo plazo necesaria para la vida; la aldosterona ayuda a regular el equilibrio de las sales del agua en los líquidos del organismo a través de los riñones.
Otras sustancias lipídicas	
Vitaminas liposolubles	
A	Se encuentra en frutas y verduras de color naranja (zanahorias y tomates); es parte del pigmento fotorreceptor implicado en la visión.
E	Ingerida a través de productos vegetales como germen de trigo y verduras de hoja verde. Podría ayudar tanto en la curación de las heridas como para la fertilidad, pero no está demostrado en seres humanos. Es una vitamina antioxidante y puede ayudar a neutralizar los radicales libres (partículas muy reactivas que se cree que están implicadas en el desencadenamiento de algunos tipos de cánceres).
K	Es la acción de las bacterias intestinales lo que, en gran parte, pone esta vitamina a nuestra disposición, aunque también está presente en gran cantidad de alimentos. Es necesaria para una adecuada coagulación de la sangre.
Prostaglandinas	Son derivados de los ácidos grasos que se encuentran en las membranas celulares. Sus diversas funciones dependen del tipo específico de que se trate, lo cual incluye la estimulación de las contracciones uterinas (induciendo, por tanto, el parto y los abortos), la regulación de la presión sanguínea, el control de la motilidad del tracto intestinal y está implicada en el proceso de inflamación.
Lipoproteínas	Sustancias con base de lípidos y proteínas que transportan ácidos grasos y colesterol al torrente sanguíneo. Las variedades principales son lipoproteínas de alta densidad (HDL) y lipoproteínas de baja densidad (LDL).

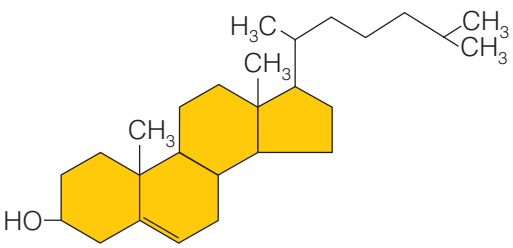
P *Los triglicéridos y los fosfolípidos son similares. ¿Cuál es la principal diferencia estructural entre ellos?*



(a) Formación de un triglicérido



(b) Molécula de fosfolípido (fosfatidilcolina)



(c) Colesterol

FIGURA 2.15 **Lípidos. (a)** Los triglicéridos, o grasas neutras, son sintetizados por la síntesis de deshidratación (tres cadenas de ácidos grasos se unen a una sola molécula de glicerol y se pierde una molécula de agua en la posición de cada enlace). **(b)** Estructura de una molécula fosfolipídica típica. Dos cadenas de ácidos grasos y un grupo que contiene fósforo se unen al componente estructural de glicerol. Observa que una cadena de ácido graso en (b) es insaturada (tiene uno o más enlaces dobles C═C). **(c)** Estructura generalizada del colesterol (la base para todos los esteroides fabricados en el organismo).

R *Ambos tienen un componente estructural de glicerol y cadenas de ácidos grasos. Sin embargo, los triglicéridos tienen tres cadenas de ácidos grasos unidas y los fosfolípidos solo tienen dos; la tercera es sustituida por un grupo que contiene fósforo.*

de solidez de una molécula a una temperatura dada. A las cadenas de ácidos grasos que sólo tienen enlaces covalentes simples entre los átomos de carbono se las denomina **saturadas**. Sus cadenas de ácidos grasos son rectas (véase la Figura 2.15a) y, a temperatura ambiente, las moléculas de una grasa saturada se apelotonan mucho, formando un sólido. De los ácidos grasos que contienen uno o más enlaces dobles entre los átomos de carbono se dice que son **insaturados** (**monoinsaturados** y **poliinsaturados,** respectivamente). Los enlaces dobles y triples hacen que las cadenas de ácidos grasos se enrosquen (Figura 2.15b), de modo que no se pueden apelotonar lo suficiente como para solidificarse. Por ello, los triglicéridos con cadenas cortas de ácidos grasos o de ácidos grasos insaturados son aceites (que se mantienen líquidos a temperatura ambiente), típicos de los lípidos procedentes de las plantas. Como ejemplos, podemos citar el aceite de oliva (rico en grasas monoinsaturadas) y los aceites de soja y de cártamo, que contienen gran cantidad de ácidos grasos poliinsaturados. Es común encontrar cadenas de ácidos grasos más largas y ácidos grasos más saturados en las grasas animales, como la mantequilla y la grasa de la carne, que son sólidas a temperatura ambiente. De los dos tipos de ácidos grasos, la variedad insaturada, especialmente el aceite de oliva, se dice que es más "sana para el corazón".

Las **grasas *trans*,** o **grasas hidrogenadas** o **parcialmente hidrogenadas,** con frecuencia presentes en muchas margarinas y productos de repostería, son aceites que han sido solidificados por adición de átomos de hidrógeno allí donde se encuentran los dobles enlaces de carbono. Hace poco se ha descubierto que aumentan el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares más que las grasas animales sólidas. Por el contrario, los **ácidos grasos omega 3,** que se encuentran de manera natural en el pescado de aguas frías, al parecer disminuyen el riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares, así como algunas enfermedades inflamatorias.

Los triglicéridos representan la fuente más abundante y concentrada de energía utilizable por el organismo. Cuando se oxidan, producen grandes cantidades de energía. Se almacenan principalmente en depósitos de grasa debajo de la piel y alrededor de los órganos del cuerpo, donde ayudan a aislarlos y a proteger tejidos más profundos de pérdidas de calor y golpes.

Fosfolípidos Los **fosfolípidos** son parecidos a los triglicéridos. Se diferencian en que un grupo que contiene fosfolípidos es siempre parte de la molécula y ocupa el lugar de una de las cadenas de ácidos grasos. Así, los fosfolípidos tienen dos ácidos grasos unidos en vez de tres (véase la Figura 2.15b).

Debido a que la porción que contiene fósforo (la "cabeza") lleva carga eléctrica, ésta confiere a los fosfolípidos propiedades químicas y polaridad especiales. Por ejemplo, la región cargada atrae e interactúa con el agua y con los iones, pero no así la cadena del ácido graso (la "cola"). La presencia de fosfolípidos en las fronteras celulares (las membranas) permite a las células ser selectivas sobre lo que debe entrar o salir.

Esteroides Los **esteroides** son, básicamente, moléculas planas formadas por cuatro anillos entrelazados (Figura 2.15c); por ello, su estructura difiere bastante de la de las grasas. Sin embargo, como las grasas, los esteroides están principalmente formados por átomos de hidrógeno y carbono y son liposolubles.

La molécula esteroide más importante es el **colesterol.** Ingerimos colesterol en productos animales como la carne, los huevos y el queso. También hay una parte que es fabricada por el hígado, independientemente de la dieta alimenticia.

El colesterol se ha ganado mala fama debido a su papel en la arteriosclerosis, pero es esencial para la vida humana. El colesterol se encuentra en las membranas celulares y es la materia prima de la vitamina D, de las hormonas esteroides y de las sales biliares. A pesar de que las hormonas esteroides están presentes en el cuerpo sólo en pequeñas cantidades, son vitales para la homeostasis. Sin las hormonas sexuales, la reproducción sería imposible, y una falta total de los corticosteroides producidos por las glándulas suprarrenales es fatal.

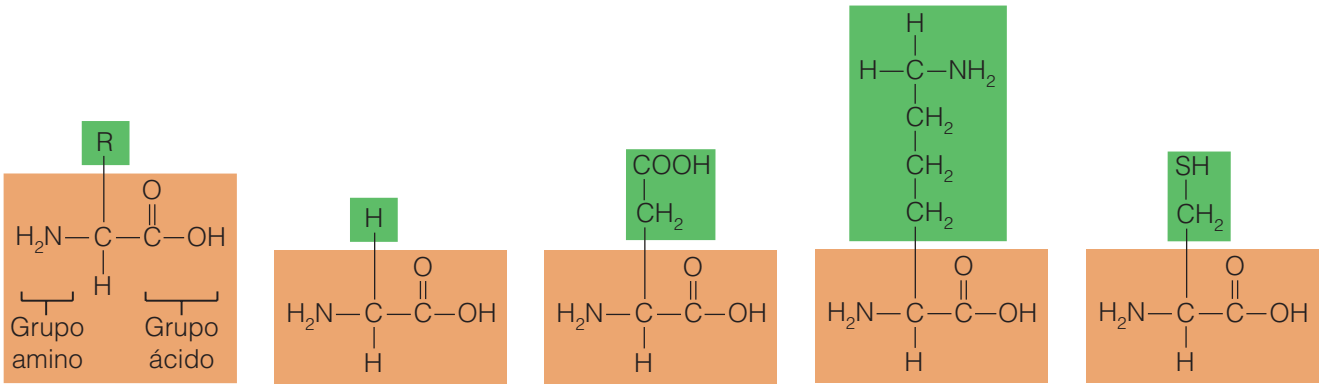
Proteínas

Las **proteínas** son responsables de más del 50% de la materia orgánica del cuerpo y tienen las funciones más variadas de las moléculas orgánicas. Algunas son materiales de construcción, otras desempeñan papeles vitales en la función celular. Como los hidratos de carbono y los lípidos, todas las proteínas contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Además, contienen nitrógeno y a veces también átomos de azufre.

Los componentes básicos de las proteínas son pequeñas moléculas llamadas **aminoácidos.** Unas 20 variedades comunes de aminoácidos se encuentran en las proteínas. Todos los aminoácidos tienen un *grupo amino* (NH_2), que les confiere propiedades básicas, y un *grupo ácido* (COOH), que les permite actuar como ácidos. De hecho, todos los aminoácidos son idénticos excepto un solo grupo de átomos llamado su *grupo R* (Figura 2.16). Así, son las diferencias en los grupos R lo que hace a cada aminoácido químicamente único. Por ejemplo, un grupo ácido extra (COOH) en el grupo R hace que el aminoácido sea más ácido.

Los aminoácidos están unidos en cadenas para formar moléculas de proteínas grandes y complejas que contienen desde 50 hasta miles de aminoácidos. (Las cadenas de aminoácidos que contienen menos de 50 aminoácidos se llaman *polipéptidos*). Debido a que cada tipo de aminoácido tiene distintas propiedades, la se-

P *¿Cuál es la importancia de los grupos R (aquí representados en verde)?*



(a) Estructura generalizada de todos los aminoácidos

(b) Glicina (el aminoácido más simple)

(c) Ácido aspártico (un aminoácido ácido)

(d) Lisina (un aminoácido básico)

(e) Cisteína (un aminoácido que contiene azufre)

FIGURA 2.16 **Estructuras de aminoácidos. (a)** Estructura generalizada de los aminoácidos. Todos ellos tienen tanto un grupo amino (—NH2) como un grupo ácido (—COOH); difieren sólo en la apariencia atómica de sus grupos R (en verde). De **(b)** a **(e)** Estructuras específicas de cuatro aminoácidos. La presencia de azufre (—SH) en el grupo R de la cisteína en (e) indica que es probable que este aminoácido participe en la creación de enlaces intramoleculares.

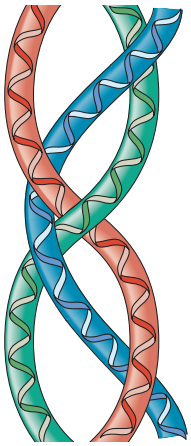
cuencia en la que están unidos produce proteínas que varían mucho tanto en estructura como en función. Para entender esto más fácilmente, piensa en los 20 aminoácidos como en un alfabeto de 20 letras. Las letras (aminoácidos) se utilizan en combinaciones específicas para formar palabras (una proteína). Igual que un cambio de una letra en una palabra puede producir una palabra con un significado totalmente diferente (mano → mono) u otra palabra sin sentido (mano → mino), los cambios en los tipos de aminoácidos (letras) o en sus posiciones en la proteína permiten producir literalmente miles de moléculas de proteínas diferentes. La estructura de las proteínas está especificada por nuestros genes, como se describirá en el Capítulo 3.

Proteínas fibrosas y globulares Basándonos en su forma y estructura generales, las proteínas se clasifican en fibrosas o globulares (Figura 2.17). Las **proteínas fibrosas,** parecidas a hebras, y también llamadas **proteínas estructurales,** aparecen a menudo en estructuras corporales. Resultan muy importantes para unir estructuras y proporcionar fuerza a ciertos tejidos del organismo. Por ejemplo, el *colágeno* se encuentra en huesos, cartílago y tendones y es la proteína más abundante del cuerpo. La *queratina* es la proteína estructural del pelo y las uñas y el material que hace que la piel sea resistente.

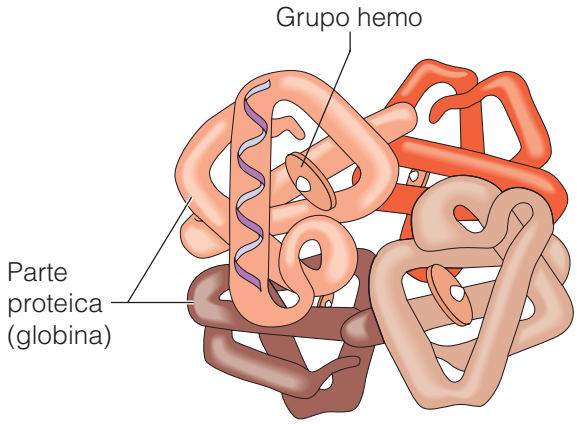
Las **proteínas globulares** son moléculas móviles, generalmente de forma esférica, que desempeñan papeles cruciales en casi todos los procesos biológicos. También son conocidas como **proteínas funcionales** porque *hacen más cosas* que simplemente formar estructuras. Como se indica en la Tabla 2.6, el ámbito de sus actividades es destacable. Algunas (los anticuerpos) ayudan a proporcionar inmunidad; otras (las hormonas) ayudan a regular el crecimiento y el desarrollo. Incluso otras, llamadas *enzimas*, son catalizadores biológicos que, esencialmente, regulan cada reacción química que tiene lugar dentro del organismo.

Las proteínas fibrosas estructurales son excepcionalmente estables, mientras que las proteínas globulares funcionales son todo lo contrario. Los enlaces de hidrógeno son extremadamente importantes para mantener su estructura, pero los enlaces de hidrógeno son frágiles y se rompen fácilmente por el calor y excesos de pH.

R *Los grupos R hacen que cada tipo de aminoácido sea funcionalmente único.*



(a) Triple hélice de colágeno (una proteína fibrosa o estructural).



(b) Molécula de hemoglobina compuesta por la proteína globina y grupos hemo unidos. (La globina es una proteína globular o funcional).

FIGURA 2.17 **Estructura general de (a) una proteína fibrosa y (b) una proteína globular.**

Cuando se destruyen sus estructuras tridimensionales, se dice que esas proteínas están *desnaturalizadas* y ya no pueden desempeñar sus papeles fisiológicos. El motivo es que su funcionamiento depende de su estructura específica, concretamente, de la presencia de series específicas de átomos llamados **sitios activos** en su superficie que "encajan" e interactúan químicamente con otras moléculas de forma y carga complementarias (Figura 2.18). La hemoglobina se vuelve incapaz de adherir y transportar oxígeno cuando el pH de la sangre se vuelve demasiado ácido, como se indicó anteriormente. La pepsina, una enzima para la digestión de las proteínas, se

TABLA 2.6 **Grupos representativos de proteínas funcionales**

Grupo funcional	Papel(es) que desempeñan en el organismo
Anticuerpos (inmunoglobulinas)	Proteínas altamente especializadas que reconocen bacterias, toxinas y algunos virus, se unen a ellos y los inactivan; funcionan en la respuesta inmune, que ayuda a proteger el organismo de sustancias "invasoras" extrañas.
Hormonas	Ayudan a regular el crecimiento y el desarrollo. Como ejemplos, podemos citar: • La hormona del crecimiento: hormona anabólica necesaria para un óptimo crecimiento. • La insulina: ayuda a regular los niveles de azúcar en sangre. • El factor de crecimiento nervioso: guía el crecimiento de las neuronas en el desarrollo del sistema nervioso.
Proteínas de transporte	La hemoglobina transporta el oxígeno de la sangre; otras proteínas de transporte en la sangre llevan hierro, colesterol u otras sustancias.
Catalizadores (enzimas)	Esenciales para casi cualquier reacción bioquímica en el organismo. Aumentan la velocidad de las reacciones químicas por lo menos un millón de veces; en su ausencia (o si son destruidas) cesan las reacciones bioquímicas.

P *¿Cómo reconoce una enzima su sustrato?*

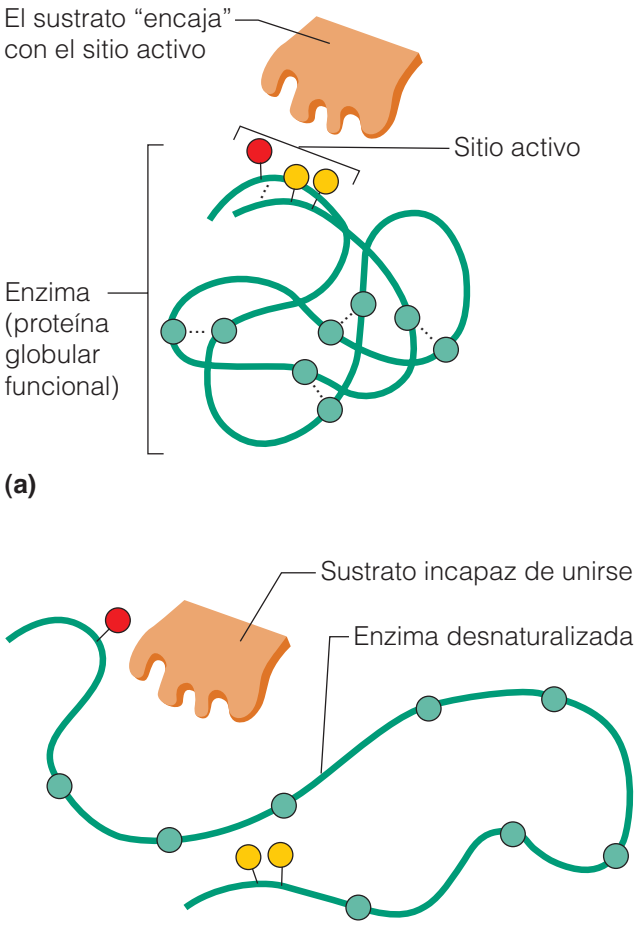


FIGURA 2.18 **Diagrama simple que ilustra la desnaturalización de una molécula de proteína funcional como una enzima. (a)** La estructura globular tridimensional de la molécula se mantiene gracias a enlaces intramoleculares. Los átomos que componen el sitio activo de la enzima se muestran como partículas con un tallo. El sustrato, o molécula sobre la que actúa la enzima, tiene su punto de unión correspondiente y ambos encajan con mucha precisión. **(b)** La rotura de los enlaces intramoleculares que mantienen la estructura tridimensional de la enzima da como resultado una molécula lineal, con los átomos del sitio activo anterior muy separados. La unión enzima-sustrato ya no puede tener lugar y, por tanto, tampoco la catálisis.

R *Las formas del sustrato y del sitio activo de la enzima son complementarias.*

inactiva con el pH alcalino. En cada caso, la estructura necesaria para la función ha sido destruida por un pH inadecuado.

Excepto las enzimas, los tipos más importantes de proteínas funcionales vienen descritos por el sistema orgánico o el proceso funcional con el que están estrechamente relacionados. Por ejemplo, las hormonas proteicas se tratan en el Capítulo 9 (Sistema endocrino), la hemoglobina se considera en el Capítulo 10 (La sangre) y se describen los anticuerpos en el Capítulo 12 (El sistema linfático y las defensas del organismo). Sin embargo, las enzimas son importantes para el funcionamiento de todas las células del cuerpo y, por ello, estas moléculas tan complejas se tratan aquí.

Enzimas y actividad enzimática Las **enzimas** son proteínas funcionales que actúan como catalizadores biológicos. Un **catalizador** es una sustancia que aumenta la velocidad de una reacción química sin convertirse en parte del producto ni modificarse. Las enzimas logran esta hazaña "uniéndose" a las moléculas reactivas (los sustratos) y manteniéndolas en la posición adecuada para la interacción química. Mientras los sustratos se unen al sitio activo de la enzima (véase la Figura 2.18a), pasan por cambios estructurales que dan como resultado un nuevo producto. Una vez que la reacción ha comenzado, la enzima libera el producto. Como las enzimas no son modificadas cuando realizan su trabajo, se pueden volver a utilizar, y las células sólo necesitan pequeñas cantidades de cada enzima.

Las enzimas son capaces de catalizar millones de reacciones a cada minuto. No obstante, su labor va más allá de simplemente aumentar la velocidad de las reacciones químicas; también determinan qué reacciones son posibles en un momento concreto. ¡Si no hay enzimas, no hay reacción! Las enzimas pueden compararse con un fuelle utilizado para insuflar aire y hacer que una hoguera perezosa se convierta en un fuego activo. Sin las enzimas, las reacciones bioquímicas ocurrirían demasiado lentamente como para mantener la vida.

Aunque hay cientos de tipos diferentes de enzimas en las células del organismo, son muy específicas en sus actividades, pues cada una controla sólo una reacción química (o un pequeño grupo de ellas) y actúa sólo sobre moléculas concretas. La mayor parte de las enzimas reciben su nombre según ese tipo de reacción específica que catalizan. Hay "hidrolasas", que añaden agua; "oxidasas", que causan oxidación; etc. (en la mayoría de los casos una enzima puede ser reconocida por el sufijo **-asa** que forma parte de su nombre).

Muchas enzimas son producidas en forma inactiva y deben ser activadas de algún modo antes de que puedan funcionar. En otros casos, las enzimas son activadas inmediatamente después de que hayan realizado su

orientación PROFESIONAL

TÉCNICO EN ALIMENTACIÓN

Los técnicos en alimentación utilizan la química con regularidad para determinar la estabilidad del producto y su vida útil.

¿Alguna vez has cogido un producto nuevo de una de las estanterías del supermercado y te has preguntado cómo ha sido desarrollado, es decir, cómo pasó de existir en la cabeza de alguien a estar ahí, en la estantería? Anne Cristofano, una técnica en alimentación de la zona de la bahía de San Francisco, encargada del desarrollo de alimentos y bebidas, es una parte central de este proceso. Una comprensión de la química básica y la capacidad de determinar el pH y la viscosidad de un producto son características esenciales en su trabajo.

> *"Los conocimientos químicos son esenciales para realizar mi trabajo."*

La opción laboral de Anne refleja su interés en la ciencia y en los alimentos. "Tengo una titulación en Alimentación (una combinación de artes culinarias, tecnología de los alimentos y nutrición) de la Universidad Politécnica Estatal de California, que me podría haber facilitado la entrada a muchas ocupaciones interesantes. Sin embargo, ¡a mí me interesan los alimentos! No sólo me atraen los aspectos culinarios (cocinar e ir a clases de cocina), sino también la tecnología de los alimentos y el desarrollo de productos. Me encanta el reto de crear un producto totalmente nuevo o de mejorar uno ya existente."

"Por ejemplo, en Mattson and Company, desrrollamos una línea de entrantes bajos en grasa y en sodio y fortificados con vitaminas esenciales para la gente que padece enfermedades cardiovasculares. También hemos creado productos sin gluten, un área en la que los consumidores que no pueden ingerir gluten tienen muy pocas opciones. No puedo imaginarme una manera de utilizar mis conocimientos en ciencia y matemáticas que me satisfaga más a nivel personal."

Los términos ciencia de los alimentos y tecnología de los alimentos a menudo se usan indistintamente, pero no son disciplinas idénticas. La ciencia de los alimentos estudia la naturaleza de los alimentos, las causas de su deterioro, los principios que rigen su procesado y su mejora para el público que los consume. La tecnología de los alimentos aplica la ciencia de los alimentos para crear nuevos productos y mejorar los ya existentes. Aplica ciencia básica para conservar, procesar, empaquetar y distribuir comida sana, nutritiva y saludable para el consumidor.

Un nuevo alimento o bebida comienza como un concepto, que suele ser creado por un equipo de *marketing* y después se pasa a un técnico en alimentación para que lo desarrolle. "Los criterios," explica Anne, "varían desde necesidades nutricionales específicas y exigencias del consumidor, por ejemplo, si deben ser *kosher* (para los judíos) o naturales, hasta restricciones de procesado y coste; la lista podría ser mucho más larga. Es importante mantenerse dentro del rango de parámetros que se nos da para desarrollar un producto que guste, que sea visualmente atractivo, y que pase fácilmente de mi mesa de trabajo a la planta de fabricación".

Los programas de la diplomatura de Ciencia y Tecnología de los Alimentos preparan a los estudiantes para puestos de trabajo tanto en el sector público como en el privado, por ejemplo, en la *Food and Drug Administration* y en el *Department of Agriculture*. Si hacemos una búsqueda en Internet escribiendo "profesiones en ciencia de los alimentos", veremos que aparecen gran cantidad de oportunidades de trabajo: ciencia y educación nutricional, nutrición en el deporte, dietética y gestión de los alimentos. Un programa universitario puede prepararnos para llegar a ser un "químico del sabor", lo que implica crear sabores "para mejorar el sabor de los alimentos para gatos y perros". Otros puestos de trabajo van desde asegurar la sanidad y salubridad de los alimentos hasta desarrollar nuevos productos alimentarios y métodos de procesado.

Para obtener más información, puedes ponerte en contacto con el *Institute of Foos Technologists* (IFT) en:

525 W. Van Buren, Suite 1000
Chicago, IL 60607
(312) 782-8424
http://www.ift.org

Para obtener información adicional sobre esta profesión, haz clic en el vínculo *Focus on Careers* en www.anatomyandphysiology.com.

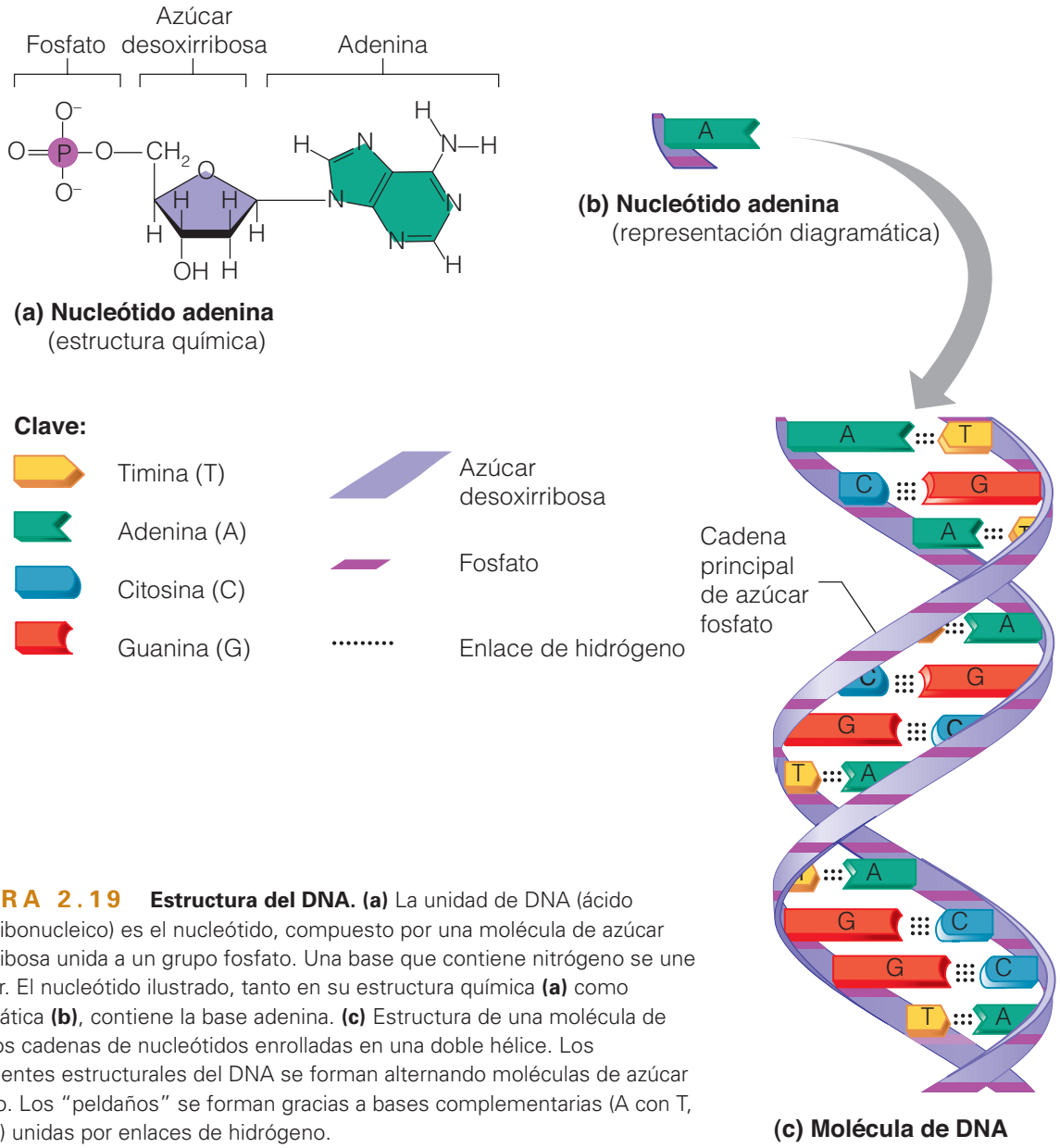


FIGURA 2.19 **Estructura del DNA. (a)** La unidad de DNA (ácido desoxirribonucleico) es el nucleótido, compuesto por una molécula de azúcar desoxirribosa unida a un grupo fosfato. Una base que contiene nitrógeno se une al azúcar. El nucleótido ilustrado, tanto en su estructura química **(a)** como diagramática **(b)**, contiene la base adenina. **(c)** Estructura de una molécula de DNA: dos cadenas de nucleótidos enrolladas en una doble hélice. Los componentes estructurales del DNA se forman alternando moléculas de azúcar y fosfato. Los "peldaños" se forman gracias a bases complementarias (A con T, G con C) unidas por enlaces de hidrógeno.

función catalítica. Ambos acontecimientos se aplican a enzimas que facilitan la coagulación de la sangre cuando un vaso sanguíneo ha sido dañado. Si esto no fuera así, se formarían muchos coágulos de sangre innecesarios y potencialmente letales.

Ácidos nucleicos

El papel de los **ácidos nucleicos** es fundamental, pues integran los genes, que proporcionan el diseño básico de la vida. No sólo determinan el tipo de organismo que vas a ser, sino que también dirigen tu crecimiento y desarrollo, y lo hacen en gran medida dictando la estructura de las proteínas (recuerda que las enzimas, que catalizan todas las reacciones químicas que tienen lugar en el organismo, son proteínas).

Los ácidos nucleicos, compuestos por átomos de carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno y fósforo, son las moléculas más grandes del cuerpo. Sus componentes básicos, los **nucleótidos,** son muy complejos. Cada uno consiste en tres partes básicas: (1) una base que contiene nitrógeno, (2) una pentosa (que es un azúcar con cinco carbonos) y (3) un grupo fosfato (Figura 2.19a y b).

Las bases vienen en cinco variedades: *adenina* (A), *guanina* (G), *citosina* (C), *timina* (T) y *uracilo* (U). A y G son bases grandes, de dos anillos, mientras que las otras son estructuras más pequeñas, de anillo único. Los nucleótidos reciben su nombre según la base que contengan: las bases que contienen A son nucleótidos de adenina, las que contienen C son nucleótidos de citosina, etc.

Los dos tipos principales de ácidos nucleicos son el **ácido desoxirribonucleico (DNA)** y el **ácido ribonucleico (RNA).** El DNA y el RNA difieren en muchos aspectos. El DNA es el material genético que se encuentra dentro del núcleo celular (el centro de control de la célula). Desempeña dos papeles fundamentales: (1) se replica a sí mismo exactamente antes de que la célula se divida, asegurando así que la información genética de cada célula del organismo es idéntica, y (2) proporciona las instrucciones para construir cada proteína del cuerpo. Para la mayor parte, el RNA está localizado fuera del núcleo y puede ser considerado el "esclavo molecular" del DNA, es decir, que el RNA ejecuta las órdenes que imparte el DNA para la síntesis de proteínas.

Aunque tanto el RNA como el DNA están formados por la unión de nucleótidos, sus estructuras finales son diferentes. Como muestra la Figura 2.19c, el DNA es una larga cadena doble de nucleótidos. Sus bases son A, G, T y C, y su azúcar es la *desoxirribosa.* Sus dos cadenas de nucleótidos se mantienen juntas gracias a enlaces de hidrógeno entre las bases, de modo que se crea una molécula con forma de escalera. Una alternancia de moléculas de azúcar y fosfato forma el eje central de esta escalera, mientras que cada "escalón" está formado por dos bases unidas (un par de bases). La unión de las bases es muy específica: A siempre se une a T y G siempre se une a C. Así, se dice que A y T son *bases complementarias,* al igual que también lo son C y G. Una secuencia de bases de ATGA en una cadena de nucleótidos necesariamente tendrá que estar unida a la secuencia de bases complementaria TACT al otro lado de la secuencia de nucleótidos. Entonces, la molécula entera se enrolla en una estructura de escalera de caracol llamada *de doble hélice.*

Mientras que el DNA tiene una secuencia doble, las moléculas de RNA son secuencias de nucleótidos únicas. Las bases del RNA son A, G, C y U (U sustituye a la T que se encuentra en el DNA), Y su azúcar es la *ribosa,* en vez de la desoxirribosa. Hay tres variedades principales de RNA: el RNA *mensajero,* el *ribosómico* y el RNA *de transferencia,* y cada una tiene un papel específico que desempeñar al ejecutar las instrucciones del DNA para construir proteínas. El RNA mensajero lleva la información para la construcción de la proteína desde los genes DNA hasta los ribosomas, los lugares de síntesis de proteínas. El RNA de transferencia transporta los aminoácidos hasta los ribosomas. El RNA ribosómico forma parte de los ribosomas, donde supervisa la traducción del mensaje y la unión de aminoácidos para formar las proteínas. La síntesis de proteínas se describe con más detalle en el Capítulo 3.

Adenosín trifosfato (ATP)

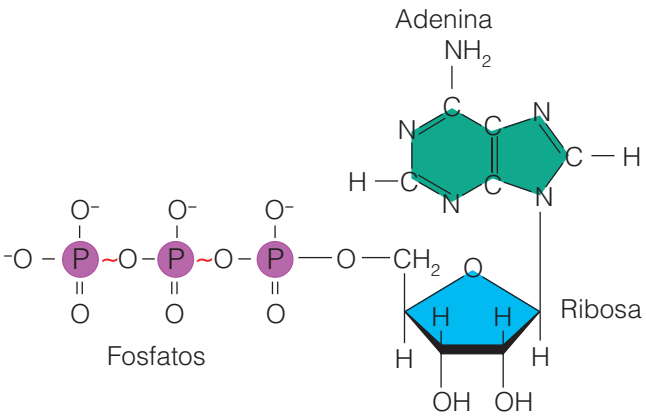
La síntesis del **adenosín trifosfato,** o **(ATP)**, es muy importante porque proporciona una forma de energía química utilizable por todas las células del organismo. Sin ATP, las moléculas no pueden ser creadas ni destruidas, las células no pueden mantener sus límites y todos los procesos vitales se paralizan.

Aunque la glucosa es el combustible más importante para las células, la energía química contenida en sus enlaces no puede ser directamente utilizada para impulsar el trabajo celular. En su lugar, la energía liberada como glucosa es catabolizada, capturada y almacenada en los enlaces de las moléculas de ATP como pequeños paquetes de energía.

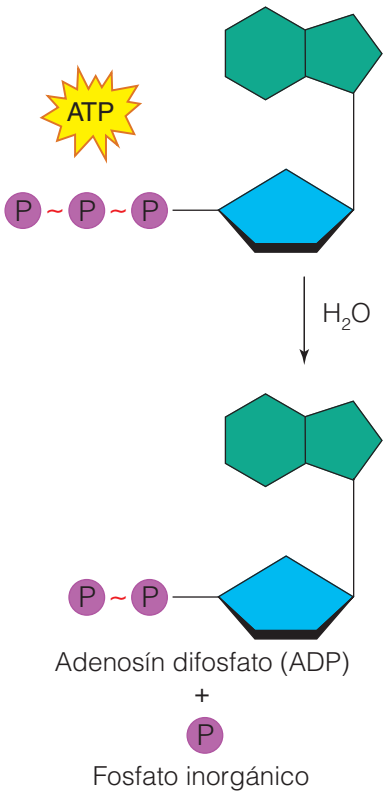
Estructuralmente, el ATP es un nucleótido modificado; consiste en una base de adenina, azúcar ribosa y tres grupos fosfato (Figura 2.20a). Los grupos fosfato están unidos por enlaces químicos únicos llamados *enlaces fosfato de alta energía.* Cuando se rompen estos enlaces por hidrólisis, la energía que puede ser utilizada inmediatamente por la célula para hacer un trabajo o impulsar una actividad concreta, como sintetizar proteínas, transportar sustancias a través de su membrana o, en el caso de las células musculares, contraerse, es liberada (Figura 2.20b). Se puede comparar el ATP con un muelle muy enrollado listo para ser desenrollado con una energía tremenda al liberarlo. La consecuencia de la separación de su enlace fosfato terminal se puede representar así:

ATP	→	ADP	+	P	+	E
(adenosín trifosfato)		(adenosín difosfato)		(fosfato inorgánico)		(energía)

Como el ATP se utiliza para proporcionar energía a las células, las acumulaciones de **adenosín difosfato (ADP)** y el suministro de ATP se reabastecen mediante la oxidación de los combustibles procedentes de los alimentos (Figura 2.21). Esencialmente, se debe capturar la misma cantidad de energía que la que se utiliza para volver a unir un grupo fosfato al ADP (es decir, para revertir la reacción), igual a la que se libera cuando el fosfato terminal se separa.



(a) Adenosín trifosfato (ATP)



(b) Hidrólisis del ATP

FIGURA 2.20 ATP: estructura e hidrólisis. **(a)** Estructura del ATP (adenosín trifosfato). **(b)** Hidrólisis del ATP para dar ADP (adenosín difosfato) y fosfato inorgánico. Los enlaces altamente energéticos están indicados por un ~ en rojo.

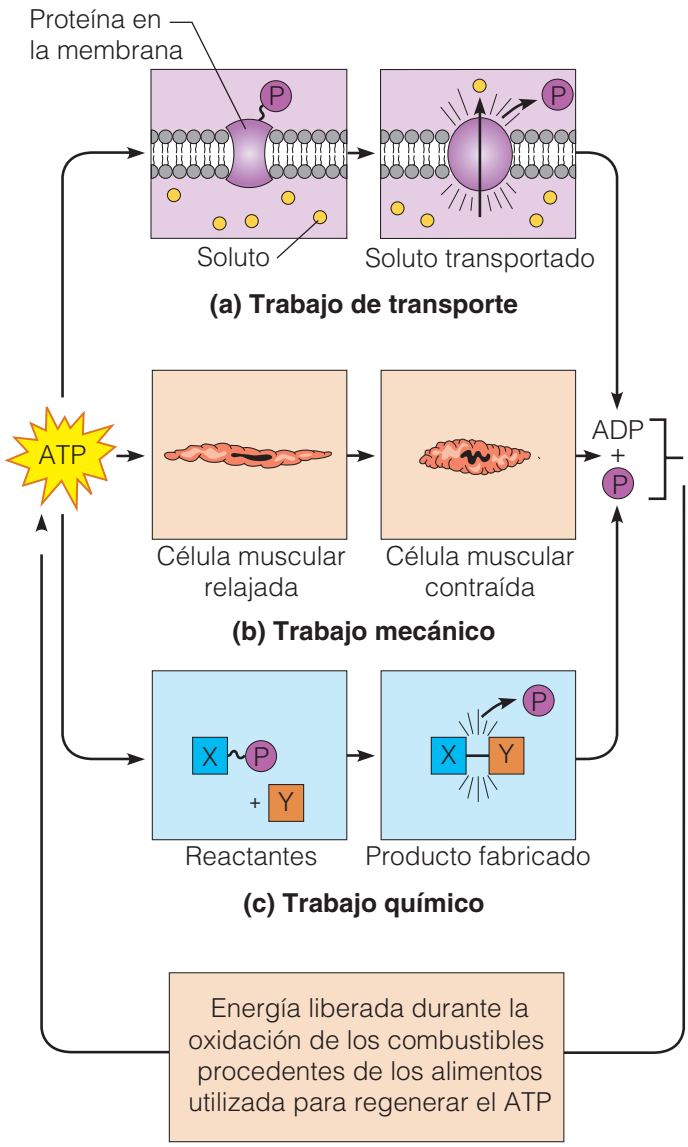


FIGURA 2.21 Tres ejemplos de cómo el ATP dirige el trabajo celular. Los enlaces altamente energéticos de ATP liberan energía para que sea utilizada por la célula cuando se rompan. **(a)** El ATP dirige el transporte de ciertos solutos (aminoácidos, por ejemplo) a través de las membranas celulares. **(b)** El ATP activa las proteínas contráctiles en las células de los músculos de modo que las células puedan acortarse y realizar el trabajo mecánico. **(c)** El ATP proporciona la energía necesaria para dirigir reacciones químicas que absorben energía. El ATP se regenera (el fosfato se une al ADP) a medida que se libera energía por la oxidación de los combustibles procedentes de los alimentos y se captura en el enlace ADP-P.

MÁS DE CERCA

LA HUELLA GENÉTICA: EL DESCIFRAMIENTO DE NUESTRO "CÓDIGO DE BARRAS" GENÉTICO

Los ataques terroristas en las torres del *World Trade Center* de Nueva York mataron a más de 3.000 personas y sus cuerpos quedaron enterrados bajo millones de toneladas de escombros. A medida que las semanas pasaban, se hizo evidente que aunque se pudiera recuperar a las víctimas de entre los restos, sus cuerpos probablemente estarían mutilados, quemados o descompuestos hasta un punto en el que incluso para los miembros de sus familias sería imposible reconocerlos.

En una situación así, ¿cómo podemos identificar a los individuos con certeza? La *New York Medical Examiner's Office*, encargada de realizar los exámenes médicos, recurrió a **la huella genética,** una técnica para analizar minúsculas muestras de DNA tomadas del semen, la piel, la sangre u otros tejidos corporales. Este método se basa en el hecho de que no hay dos personas, excepto en el caso de gemelos idénticos, que tengan los mismos paquetes de material genético. En efecto, la huella genética crea un "código de barras" genético único que nos distingue de todos los demás seres humanos. Veamos cómo funciona.

Crear un perfil de DNA

Recordemos que el DNA contiene cuatro nucleótidos, A, G, C y T, que forman pares de bases complementarias. En miembros de la misma especie, el 99,9% del DNA es idéntico. Esto significa que sólo el 0,1% de tu DNA difiere del de otros seres humanos, incluso del de parientes cercanos, pero es suficiente para hacerte genéticamente único. En una secuencia de DNA de 3 mil millones de unidades de longitud, ese 0,1% se traduce en 3 millones de variaciones que se diferencian ligeramente de las de cualquier otro individuo. A menos que tengas un hermano idéntico, tu paquete de DNA es sólo tuyo. La huella genética implica el análisis del DNA de una persona, trazando un mapa de su patrón único y comparándolo con otros perfiles de DNA para determinar si hay alguna correspondencia.

Una técnica estándar para crear un perfil de DNA se centra en 13 puntos específicos de nuestros cromosomas en los que se colocan segmentos cortos del DNA nuclear en una secuencia repetida. Aunque en teoría es posible que personas que no tienen nada que ver entre sí puedan mostrar repeticiones idénticas en los 13 puntos, la probabilidad es menor de una en un trillón.

A veces, puede ser difícil obtener la cantidad suficiente de DNA del núcleo como para poder analizarlo. Las muestras de DNA recuperadas de lugares donde haya ocurrido un crimen o una catástrofe, por ejemplo, suelen estar contaminadas de suciedad, fibras y restos o muy descompuestas, limitando la cantidad de tejido analizable. La recuperación de DNA puede convertirse en una carrera contra reloj, ya que los microbios, las enzimas, los insectos y los factores ambientales como el calor y la humedad aceleran el proceso de descomposición.

Clasificación e identificación del DNA

Para que sea posible elaborar un perfil de DNA, primero debe ser cortado en fragmentos manejables gracias a las *enzimas de restricción,* que reconocen una secuencia específica de bases y cortan el DNA en ese punto. Esto divide los cromosomas en millones de piezas de distintos

Electroforesis del DNA. Un científico observa los fragmentos de DNA en un gel de electroforesis.

tamaños que, entonces, pasan por el proceso de *electroforesis en gel,* que clasifica las piezas por su longitud. El DNA se coloca sobre un gel y, a continuación, se le aplica una diferencia de potencial eléctrico. Los fragmentos negativamente cargados de DNA son atraídos al electrodo cargado positivamente y migran hacia él. Dado que las piezas más pequeñas se mueven más rápidamente que las grandes, los fragmentos terminan siendo clasificados por tamaño.

> *"La recuperación de DNA puede convertirse en una carrera contra reloj."*

Para localizar una secuencia de repetición específica, los investigadores hacen

MÁS DE CERCA La huella genética *(continuación)*

una *sonda de DNA* con una secuencia complementaria y la marcan con un compuesto radiactivo. Como sus secuencias son complementarias, la sonda se une al punto, y cuando se expone a una placa de rayos X, la imagen muestra bandas oscuras allí donde la sonda se empareja al DNA.

El perfil de DNA de una víctima es entonces comparado con las referencias conocidas para encontrar uno que corresponda. En el caso del ataque al *World Trade Center*, las referencias de DNA se obtuvieron a partir de los efectos personales de las víctimas (como cepillos de dientes y de pelo), se introdujeron en un ordenador y se clasificaron para encontrar una correspondencia.

La huella genética y la medicina forense

La huella genética se ha convertido en una herramienta vital en la medicina forense (la aplicación del conocimiento médico a cuestiones de derecho). Por ejemplo, este método se usa para identificar restos de seres humanos desconocidos, a los que se denomina "John y Jane Doe" en Estados Unidos. Los militares estadounidenses toman muestras de sangre y saliva de cada recluta para poder identificar a los soldados fallecidos en acto de combate. También puede servir para identificar a las víctimas de desastres masivos como accidentes aéreos. La tragedia del *World Trade Center* precisó análisis genéticos a una escala sin precedentes.

La huella genética puede probar que un sospechoso estaba realmente en la escena del crimen. En Estados Unidos, algunas comunidades exigen que ciertos criminales faciliten muestras de su DNA, que se clasifican y almacenan. Los perfiles de DNA también pueden probar la inocencia. Por lo menos 10 personas en Estados Unidos han sido exoneradas de su condena a muerte gracias a la evidencia genética.

Mediante la huella genética también podemos verificar parentescos en los casos de propiedades en disputa, identificar a familiares largamente desaparecidos y establecer relaciones de paternidad incluso a varios siglos vista. Por ejemplo, los historiadores han debatido mucho sobre si Thomas Jefferson, el tercer presidente de Estados Unidos, tuvo hijos con su esclava Sally Hemings. Los modernos investigadores del DNA que tomaron parte en el asunto consiguiendo el perfil del cromosoma Y de Jefferson. Una comparación entre 19 marcadores genéticos de los cromosomas Y de Jefferson y los de los descendientes de Hemings reveló correspondencias idénticas entre la línea genética de Jefferson y la del hijo menor de Hemings. ¿Puede ser casualidad? ¡Difícilmente!

¿LO HAS ENTENDIDO?

18. ¿Cuáles son las unidades estructurales, o componentes básicos, de los hidratos de carbono? ¿Y de las proteínas?
19. ¿Qué tipo de molécula lipídica se encuentra en grandes cantidades en el tejido adiposo debajo de la piel? ¿Qué tipo de lípido es abundante en las membranas celulares?
20. ¿En qué se diferencian el DNA y el RNA con respecto a los tipos de bases y azúcares que contienen?
21. ¿Cuál es la mayor importancia que tiene el ATP para las células del organismo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D

RESUMEN

Debajo aparece una referencia a los medios electrónicos de estudio que sirven de repaso adicional sobre los asuntos clave del Capítulo 2.

IP = *InteraActive Physiology*

WEB = The A&P Place

Conceptos de materia y energía (págs. 27-28)

1. Materia
   a. La materia es cualquier cosa que ocupa un espacio y que tiene una masa.
   b. La materia existe en tres estados: sólido, líquido y gaseoso.

2. Energía
   a. La energía es la capacidad de hacer un trabajo o de mover materia. La energía tiene una capacidad cinética (activa) y una capacidad potencial (almacenada) de trabajo.
   b. Las formas de energía importantes para el funcionamiento del cuerpo son: química, eléctrica, mecánica y radiante.
   c. Las formas de energía se pueden convertir unas en otras fácilmente, pero siempre hay una cantidad de energía inutilizable (que se pierde en forma de calor) es esas transformaciones.

Composición de la materia (págs. 29-34)

1. Elementos y átomos
   a. Cada elemento es una sustancia única que no puede ser descompuesta en sustancias más simples por métodos químicos ordinarios. Existen, en total, entre 112 y 118 elementos, que se diferencian entre sí por sus propiedades químicas y físicas.
   b. Cuatro elementos (carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) componen el 96% de la materia viva. Otros elementos están presentes en cantidades pequeñas o traza.

   WEB Ejercicio: Chapter 2, Common Elements in Living Organisms.

   c. Los componentes básicos de los elementos son los átomos. Cada átomo se describe por un símbolo atómico que consiste en una o dos letras.
2. Estructura atómica
   a. Los átomos están compuestos por tres partículas subatómicas: protones, electrones y neutrones. Debido a que todos los átomos son eléctricamente neutros, el número de protones de cualquier átomo es igual a su número de electrones.
   b. El modelo planetario del átomo representa toda la masa del átomo (protones y neutrones) concentrada en un núcleo central diminuto. Los electrones orbitan alrededor del núcleo en órbitas específicas. El modelo orbital también sitúa a los protones y a los electrones en un núcleo central, pero describe a los electrones ocupando áreas de espacio llamadas orbitales y formando una nube de electrones de carga negativa alrededor del núcleo.

   WEB Ejercicio: Chapter 2, The Structure of Atoms.

   c. Cada átomo puede ser identificado por un número atómico, que es igual al número de protones contenido en el núcleo del átomo.
   d. El número de masa atómica es igual a la suma de los protones y neutrones en el núcleo del átomo.
   e. Los isótopos son formas atómicas diferentes del mismo elemento. Sólo difieren en el número de neutrones del núcleo. Muchos de los isótopos más pesados son inestables y se descomponen en una forma más estable emitiendo partículas o energía del núcleo, fenómeno llamado radiactividad. Esos isótopos son útiles en los diagnósticos y tratamientos médicos y en la investigación bioquímica.
   f. El peso atómico es aproximadamente igual al número de masa del isótopo más abundante de cualquier elemento.

Moléculas y compuestos (págs. 34-35)

1. Una molécula es la unidad más pequeña que resulta de la unión de dos o más átomos. Se forma una molécula de un compuesto cuando los átomos son distintos.
2. Los compuestos muestran propiedades diferentes de las de los átomos de los que están formados.

Enlaces químicos y reacciones químicas (págs. 35-41)

1. Formación de los enlaces
   a. Los enlaces químicos son relaciones de energía. Los electrones que ocupan el nivel de energía más externo (la capa de valencia) de los átomos reactivos permanecen activos durante el proceso de creación del enlace.
   b. Los átomos que tienen una capa de valencia completa (dos electrones en la primera capa u ocho en las siguientes capas) son químicamente inactivos. Aquellos que tienen una capa de valencia incompleta interactúan perdiendo, ganando o compartiendo electrones para ganar estabilidad (es decir, para llenar la capa de valencia).

   WEB Ejercicio: Chapter 2, Electron Arrangement.

   c. Se forman iones cuando los electrones de la capa de valencia son transferidos por completo de un átomo a otro. Así, los iones formados con cargas opuestas se atraen, formando un enlace iónico. Es común encontrar enlaces iónicos en las sales.

   WEB Ejercicio: Chapter 2, Ionic Bonds.

   d. Los enlaces covalentes implican compartir pares de electrones entre átomos. Si los electrones se comparten equitativamente, la molécula será covalente no polar. Si los electrones no se comparten equitativamente, la molécula será covalente polar. Las moléculas polares se orientan hacia las partículas cargadas y hacia otras moléculas.

   WEB Ejercicio: Chapter 2, Covalent Bonds.

   e. Los enlaces de hidrógeno son enlaces frágiles que unen moléculas de agua o distintas partes de la misma molécula (enlaces intramoleculares). Suelen encontrarse en moléculas orgánicas grandes y complejas, como las proteínas y los ácidos nucleicos.

2. Pautas de las reacciones químicas
   a. Las reacciones químicas implican la formación o rotura de enlaces químicos. Se indican mediante una ecuación química, que informa sobre la composición química (la fórmula) del/los reactante/s y el/los producto/s.
   b. Las reacciones químicas que dan como resultado moléculas más grandes y complejas son reacciones de síntesis, e implican la formación de enlaces.
   c. En las reacciones de descomposición, las moléculas más grandes se degradan en moléculas más pequeñas o en átomos. Los enlaces se rompen.
   d. Las reacciones de intercambio implican tanto la creación como la rotura de enlaces. Los átomos son sustituidos por otros átomos.
   e. Independientemente del tipo de reacción, la mayoría de las reacciones químicas son reversibles. La reversibilidad se indica por una flecha doble.
3. Factores que aumentan la velocidad de las reacciones químicas
   a. Para que los átomos interactúen químicamente, deben colisionar con fuerza.
   b. Entre los factores que afectan al número o a la fuerza de las colisiones, se pueden citar: la temperatura, la concentración de los reactantes, el tamaño de las partículas y los catalizadores.

Bioquímica: la composición química de la materia viva (págs. 41-58)

1. Compuestos inorgánicos
   a. Los compuestos inorgánicos que componen la materia viva no contienen carbono (entre las excepciones están el CO_2 y el CO), Como el agua, las sales y algunos ácidos y bases.

   WEB Ejercicio: Chapter 2, Characteristics of Acids, Bases and Salts.

   b. El agua es el compuesto más abundante del organismo. Es el disolvente universal en el que los electrolitos (sales, ácidos y bases) se ionizan, y en el que ocurren las reacciones químicas. Es la base del transporte y de los líquidos lubricantes. Absorbe y libera calor lentamente, ayudando así a mantener la homeostasis de la temperatura corporal y protege ciertas estructuras del organismo (como el cerebro) al formar una amortiguación acuosa. El agua es también un reactante en las reacciones de hidrólisis.
   c. Las sales en forma iónica están implicadas en la transmisión nerviosa, la contracción muscular, la coagulación de la sangre, el transporte de oxígeno mediante la hemoglobina, la permeabilidad celular, el metabolismo y muchas otras reacciones. Además, las sales de calcio (en forma de sales óseas) contribuyen a dotar de dureza a los huesos.
   d. Los ácidos son dadores de protones. Cuando se disuelven en agua, liberan iones de hidrógeno. Los ácidos fuertes se disocian totalmente; los ácidos débiles se disocian parcialmente.
   e. Las bases son receptores de protones. Las bases inorgánicas más importantes son los hidróxidos. Los iones de bicarbonato son bases importantes del organismo. Cuando las bases y los ácidos interactúan, tiene lugar la neutralización, es decir, que se forman una sal y agua.
   f. Las concentraciones relativas de hidrógeno e iones hidróxilo en varios líquidos corporales se mide utilizando una escala de pH. Cada cambio de una unidad de pH representa una variación de diez veces en la concentración de iones de hidrógeno. Un pH de 7 es neutro (es decir, que las concentraciones de iones de hidrógeno e hidróxilo son iguales). Un pH por debajo de 7 es ácido, y si está por encima de 7 es alcalino (básico).
   g. El pH normal de la sangre varía desde 7,35 hasta 7,45. Las desviaciones, aunque sean ligeras, de estos límites pueden ser fatales.
2. Compuestos orgánicos
   a. Los compuestos orgánicos contienen carbono e incluyen la materia viva. Son ejemplos los hidratos de carbono, los lípidos, las proteínas y los ácidos nucleicos. Todos ellos contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Las proteínas y los ácidos nucleicos también contienen cantidades importantes de nitrógeno.
   b. Los hidratos de carbono contienen carbono, hidrógeno y oxígeno en la relación general $(CH_2O)_n$, siendo los monosacáridos sus componentes básicos. La glucosa, la fructosa, la galactosa, la desoxirribosa y la ribosa son monosacáridos. Entre los disacáridos se encuentran la sacarosa, la maltosa y la lactosa. Y, como polisacáridos, podemos citar el almidón y el glucógeno. Los hidratos de carbono son ingeridos en forma de azúcares y almidones. Éstos, y en particular la glucosa, son la fuente principal de energía para la formación de ATP.
   c. Entre los lípidos se incluyen los triglicéridos (glicerol más tres cadenas de ácidos grasos), los fosfolípidos y los esteroides (de los que el colesterol es el más importante). Los triglicéridos (grasas neutras) sobre todo se encuentran en el tejido adiposo, donde proporcionan aislamiento y almacenan combustible para el organismo. Podemos encontrar fosfolípidos y colesterol en todas las membranas celulares. El colesterol también forma la base de ciertas hormonas, sales biliares y vitamina D. Como los hidratos de carbono, los lípidos son degradados por la hidrólisis y sintetizados por la síntesis de deshidratación.
   d. Las proteínas se construyen a partir de unos componentes básicos llamados aminoácidos, de los que en el cuerpo humano hay 20 tipos comunes. La secuen-

cia de aminoácidos determina el tipo de proteínas que se van a construir. Las proteínas fibrosas o estructurales son los materiales estructurales básicos del organismo. Como ejemplo de proteínas globulares o funcionales están las enzimas, algunas hormonas y la hemoglobina. La destrucción de los enlaces de hidrógeno de las proteínas funcionales resulta en su desnaturalización y desactivación.

e. Las enzimas aumentan la velocidad de las reacciones químicas combinándose específicamente con los reactantes y manteniéndolos en la posición adecuada para interaccionar. Las enzimas no se convierten en parte del producto. Muchas de ellas son producidas en forma inactiva, o se desactivan inmediatamente después de su uso.

f. Los ácidos nucleicos incluyen el ácido desoxirribonucleico (DNA) y el ácido ribonucleico (RNA). La unidad a partir de la cual se construyen los ácidos nucleicos es el nucleótido; cada nucleótido consiste en una base nitrogenada, un azúcar (ribosa o desoxirribosa) y un grupo fosfato. El DNA (la "materia prima" de los genes) mantiene la herencia genética replicándose a sí mismo antes de la división celular y contiene la estructura proteínica de especificación de código. El RNA actúa en la síntesis de proteínas para asegurar que las instrucciones del DNA sean ejecutadas.

g. El ATP (adenosín trifosfato) es el compuesto energético universal que utilizan todas las células del cuerpo. Cuando se libera energía en la oxidación de la glucosa, una parte de esa energía es capturada en los enlaces de fosfato de las moléculas de ATP, que son muy energéticos, y se almacena para su uso posterior.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. ¿Cuál de la/s siguiente/s es/son verdad con respecto al núcleo atómico?
   a. Contiene la masa del átomo.
   b. Las partículas cargadas negativamente están en él.
   c. Las partículas pueden ser expulsadas.
   d. Contiene partículas que determinan el número atómico.
   e. Contiene partículas que interactúan con otros átomos.

2. Encuentra la/s correspondencia/s entre elemento y número de electrones de la capa de valencia.
   a. Oxígeno–6
   b. Cloro–8
   c. Fósforo–5
   d. Nitrógeno–3
   e. Carbono–4

3. ¿Cuáles de las siguientes afirmaciones son funciones importantes del agua?
   a. Proporciona amortiguación.
   b. Actúa como medio de transporte.
   c. Participa en las reacciones químicas.
   d. Actúa como disolvente de azúcares, sales y otros solutos.
   e. Reduce las fluctuaciones de temperatura.

4. Entre las sustancias alcalinas se encuentran.
   a. el jugo gástrico,
   b. el agua,
   c. la sangre,
   d. el zumo de naranja,
   e. el amoniaco.

5. La glucosa es al almidón lo que
   a. un esteroide es a un lípido,
   b. un nucleótido es a un ácido nucleico,
   c. un aminoácido es a una proteína,
   d. un polipéptido es a un aminoácido.

6. ¿Qué tipo de lípido constituye la base de las membranas celulares?
   a. Un triglicérido.
   b. Un esteroide.
   c. La vitamina D.
   d. Un fosfolípido.
   e. La prostaglandina.

7. ¿La falta de cuál de las siguientes bases nitrogenadas evitaría la síntesis de proteínas?
   a. Adenina.
   b. Citosina.
   c. Guanina.
   d. Timina.
   e. Uracilo.

8. El ATP *no* está asociado a
   a. una estructura básica de nucleótidos,
   b. los enlaces de fosfato altamente energéticos,
   c. la desoxirribosa,
   d. el fosfato inorgánico,
   e. las reacciones reversibles.

9. El elemento esencial para una función normal de la glándula tiroides es
   a. el yodo,
   b. el hierro,
   c. el cobre,
   d. el selenio,
   e. el cinc.

Respuesta breve

10. ¿Por qué el estudio de la química básica es esencial para comprender la fisiología humana?

11. La materia ocupa espacio y tiene masa. Explica cómo se debe describir la energía en términos de estos dos factores. Después, define la energía.

12. Explica la relación entre la energía cinética y la potencial.

13. Identifica la forma de energía en uso en cada uno de los siguientes ejemplos:
    a. Masticar la comida.
    b. Visión (dos tipos, por favor: ¡piensa!).
    c. Doblar los dedos para hacer un puño.
    d. Romper los enlaces de las moléculas de ATP para dar energía a tus células musculares para hacer ese puño.
14. Según la historia griega, un científico griego fue corriendo por las calles anunciando que había transformado el plomo en oro. Tanto el plomo como el oro son elementos. Sobre la base de lo que sabes acerca de la naturaleza de los elementos, explica por qué su alegría no duró demasiado.
15. Nombra los símbolos atómicos de los cuatro elementos que forman el grueso de toda la materia viva. ¿Cuáles de ellos se encuentran principalmente en las proteínas y en los ácidos nucleicos?
16. Todos los átomos son neutrales. Explica la base de este hecho.
17. Rellena la tabla siguiente para describir completamente las partículas subatómicas de un átomo.

Partícula	Posición en el átomo	Carga	Masa
Protón			
Neutrón			
Electrón			

18. Define *radiactividad*. Si un elemento tiene tres isótopos, ¿cuál de ellos (el menos pesado, el que tiene una masa intermedia o el más pesado) es más probable que sea un radioisótopo y por qué?
19. Define *molécula*.
20. Explica la base de la creación de enlaces iónicos.
21. ¿Qué son los enlaces de hidrógeno y en qué medida son importantes para el organismo?
22. Los dos átomos de oxígeno que forman las moléculas de gas oxígeno que respiras están unidos por un enlace covalente polar. Explica por qué esta afirmación es verdadera o falsa.
23. El oxígeno y el argón son gases. El oxígeno se combina fácilmente con otros elementos, pero el argón no. ¿Por qué?
24. Identifica cada una de las siguientes reacciones como de síntesis, de descomposición o de intercambio:

$$2Hg + O_2 \rightarrow 2HgO$$
$$Fe^{2+} + CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 + Cu^{2+}$$
$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O$$
$$HNO_3 \rightarrow H^+ + NO_3^-$$

25. Haz la distinción entre compuestos orgánicos e inorgánicos y configura una lista con las categorías principales de cada uno en el cuerpo humano.
26. Las sales, los ácidos y las bases son electrolitos. ¿Qué es un electrolito?
27. Define *pH*. La variación de pH de la sangre es de 7,35 a 7,45. Haz un círculo alrededor de la respuesta correcta para completar la frase: esto es ligeramente (ácido/básico).
28. Un pH de 3,3 es (1/10/100/1.000) veces más ácido que un pH de 4,3.
29. Define *monosacárido, disacárido* y *polisacárido*. Pon, al menos dos ejemplos de cada uno. ¿Cuál es la función principal de los hidratos de carbono en el cuerpo?
30. ¿Cuáles son las estructuras generales de las grasas neutras, los fosfolípidos y los esteroides? Escribe uno o dos usos importantes de cada uno de estos tipos de lípidos en el organismo.
31. El componente básico de las proteínas es el aminoácido. Dibuja un diagrama de la estructura de un aminoácido generalizado. ¿Qué importancia tiene el grupo R?
32. Nombra las dos clases de proteínas basadas en la estructura y función en el cuerpo y pon dos ejemplos de cada.
33. Define *enzima* y describe el mecanismo de la actividad enzimática.
34. En ausencia de enzimas, no puede haber reacciones químicas en el organismo. ¿De qué manera puede interferir una temperatura corporal excesiva con la actividad enzimática?
35. ¿Cuál es la unidad estructural de los ácidos nucleicos? Nombra las dos clases principales de ácidos nucleicos que se encuentran en el cuerpo y luego compáralas y contrástalas en términos de **(a)** estructura tridimensional general y **(b)** funciones relativas.
36. ¿Cuál es la función principal del ATP en el cuerpo?
37. Explica por qué puedes "acumular" agua ligeramente por encima del borde de un vaso si viertes el agua con mucho cuidado.
38. El agua es un recurso natural valiosísimo y se sabe que el suministro es a veces escaso. Se ha recomendado la desalinización (proceso que elimina la sal del agua) del agua de mar como una solución al problema. ¿Por qué no debemos beber agua salada?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

39. Varios antibióticos actúan uniéndose a ciertas enzimas esenciales en las bacterias diana. ¿Cómo podrían influir estos antibióticos en la reacción química controlada por la enzima? ¿Cuál puede ser el efecto sobre las bacterias? ¿Y en la persona que toma el antibiótico prescrito?

40. La señora González, que está en coma diabético, acaba de ser ingresada en el hospital. El pH de su sangre indica que padece una acidosis grave y el personal médico rápidamente toma medidas para que el pH de su sangre vuelva a estar dentro de los límites normales. Observa el pH habitual de la sangre y argumenta por qué una acidosis grave es un problema.

41. Eva está muy orgullosa de su figura delgada de modelo y presume de que no le sobra "ni un gramo de grasa corporal". Por otro lado, Bárbara tiene un sobrepeso evidente. Se queja de que tiene calor todo el tiempo y se siente fatal en los días cálidos. Eva suele tener frío casi siempre, excepto en los días más calurosos. Explica la sensibilidad relativa a la temperatura ambiente de estas dos mujeres según la información que se te ha dado en la parte dedicada a compuestos orgánicos de este capítulo.

42. A los pediatras les preocupa el peligro de daños cerebrales cuando la temperatura de un niño se acerca a los 40,5°C. ¿Qué tipo de moléculas orgánicas es más probable que se deteriore por una temperatura alta? Explica por qué.

CAPÍTULO

3

Células y tejidos

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, tendrás un conocimiento profundo acerca de las funciones de las células y los tejidos y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- Las células realizan todas las actividades químicas necesarias para mantener la vida.
- Los tejidos hacen posible una división del trabajo entre las células del organismo.

NUESTROS OBJETIVOS

PARTE I: LAS CÉLULAS

Introducción a la base celular de la vida (págs. 65-66)

- Nombra los cuatro elementos que configuran el grueso de la materia viva y haz una lista con algunos elementos traza.

Anatomía de una célula tipo (págs. 66-76)

- Definir *célula, organelo* e *inclusión*.
- Identificar en un modelo de una célula o en un diagrama las tres partes principales de las células (núcleo, citoplasma y membrana plasmática).
- Configura una lista con las estructuras del núcleo y explica la función de la cromatina y de los nucleolos.
- Identifica los organelos en el modelo de una célula o descríbelos e indica la función principal de cada uno.

Fisiología celular (págs. 76-88)

- Define *permeabilidad selectiva, difusión* (incluyendo *difusión simple, difusión facilitada* y *ósmosis*), *transporte activo, transporte pasivo, bombeo de soluto, exocitosis, endocitosis, fagocitosis, pinocitosis, hipertónico, hipotónico* e *isotónico*.
- Describe la estructura de la membrana plasmática y explica cómo los diferentes procesos de transporte son responsables de los movimientos direccionales de sustancias específicas a través de la membrana plasmática.
- Describe brevemente los procesos de la replicación del DNA y de la mitosis. Explica la importancia de la división celular mitótica.
- Describe los papeles del DNA y de los tres tipos principales de RNA en la síntesis de proteínas.
- Nombra algunos tipos de células y relaciona su forma general y su estructura interna con sus funciones especiales.

PARTE II: TEJIDOS DEL CUERPO (págs. 88-101)

- Nombra los cuatro tipos principales de tejidos y sus subcategorías más importantes. Explica en qué se diferencian los cuatro tipos de tejido a nivel estructural y funcional.
- Facilita las ubicaciones principales de los distintos tipos de tejidos del organismo.
- Describe el proceso de reparación tisular (curación de heridas).

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE CÉLULAS Y TEJIDOS (págs. 101, 104)

- Define *neoplasia* y distingue las neoplasias benignas de las malignas.
- Explica el significado del hecho de que algunos tipos de tejidos (músculos y nervios) sean muy amitóticos después de que se hayan terminado las etapas de crecimiento.

PARTE I: LAS CÉLULAS

A finales del siglo XVII, Robert Hooke estaba observando a través de un microscopio rudimentario algún tejido de una planta: el corcho. Vio entonces unas estructuras en forma de cubo que le recordaron los largos dormitorios (o celdas) donde dormían los monjes en el monasterio, así que decidió bautizar a estas estructuras con el nombre de **células.** Las células vivas que habían formado el corcho estaban muertas desde hacía mucho tiempo. Sin embargo, el nombre permaneció y se sigue utilizando para describir la unidad más pequeña, o el componente básico, de todo lo que está vivo, plantas y animales por igual. Cualquiera que sea su forma o su comportamiento, la célula contiene todas las partes necesarias para sobrevivir en un mundo en transformación. El cuerpo humano tiene trillones de estos componentes básicos.

Introducción a la base celular de la vida

Tal vez lo más sorprendente acerca de una célula es su organización. Si se analizan químicamente las células se encuentra que están formadas en su mayoría de cuatro elementos: carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, además de cantidades mucho menores de otros. Aunque estos cuatro elementos forman la mayor parte de la estructura celular (la cual es principalmente proteína), los elementos traza son muy importantes para algunas funciones celulares. Por ejemplo, el calcio es necesario para la coagulación de la sangre (entre otras cosas) y el hierro lo es para fabricar hemoglobina, que es la encargada de llevar oxígeno por la sangre. El yodo es necesario para fabricar la hormona tiroidea que controla el metabolismo. En su forma iónica, muchos de los metales (como el calcio, el sodio y el potasio) pueden llevar una carga eléctrica; cuando lo hacen reciben el nombre de *electrolitos*. Los iones de sodio y de potasio son esenciales si se tienen que transmitir impulsos nerviosos y si los músculos se tienen que contraer. (En el Capítulo 2 aparece una descripción más detallada de la química del organismo).

Aunque parezca curioso, especialmente cuando sentimos nuestros músculos en tensión, las células vivas son agua en alrededor de un 60%, que es uno de los motivos por los que el agua es fundamental para la vida. Además de contener grandes cantidades de agua,

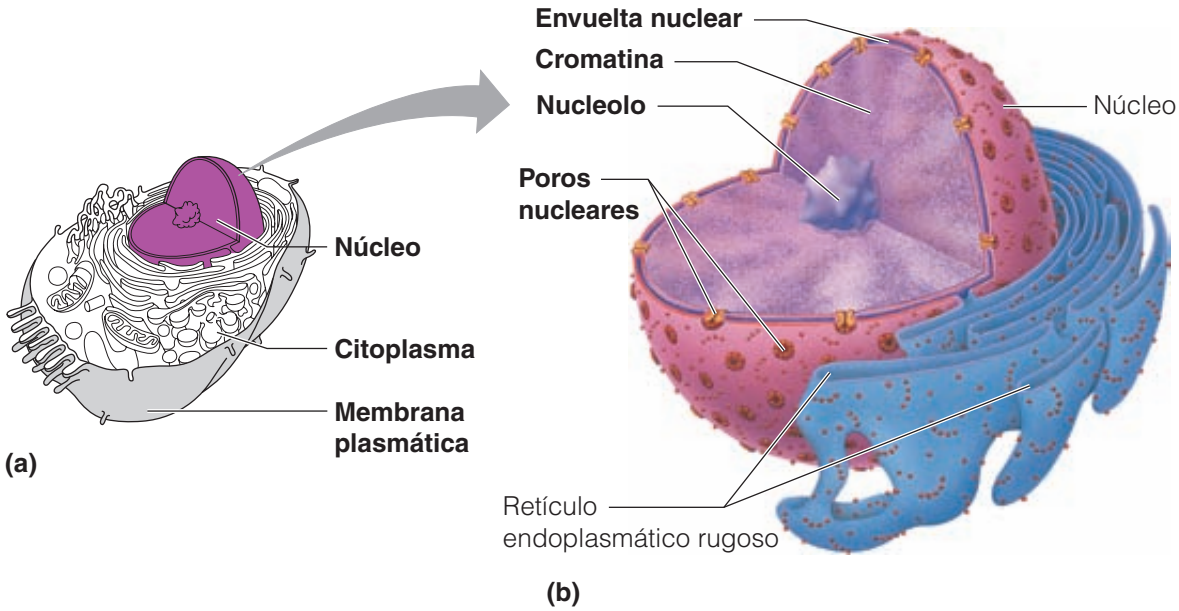


FIGURA 3.1 Anatomía del núcleo de una célula animal tipo.
(a) Diagrama de orientación: las tres regiones principales de la célula tipo.
(b) Estructura del núcleo.

todas las células del cuerpo están constantemente bañadas en una solución salina diluida (algo parecido al agua del mar) llamada *líquido intersticial,* derivado de la sangre. Todos los intercambios entre células y sangre se realizan a través de este líquido.

La longitud de las células varía de forma notable, desde dos micrómetros en el caso de la más pequeña hasta un metro o más en el caso de las células nerviosas que hacen que puedas mover los dedos de los pies. Además, la estructura de una célula a menudo refleja su función, como podrá constatarse a lo largo de este capítulo. Las células pueden tener formas muy diferentes. Algunas parecen discos (los glóbulos rojos), otras tienen extensiones muy delgadas (las células del sistema nervioso), otras parecen palillos de dientes apuntándose unas a otras (las células del músculo liso).

Las células también varían mucho en las funciones que desempeñan en el organismo. Por ejemplo, los leucocitos vagan libremente por los tejidos corporales y protegen el organismo destruyendo bacterias y otros cuerpos extraños. Algunas células fabrican hormonas o sustancias químicas que regulan a otras células. Otras participan en los intercambios de gases en los pulmones o limpian la sangre (las células tubulares de los riñones).

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. El hidrógeno y el nitrógeno son dos de los cuatro elementos que componen el grueso de la estructura celular. ¿Cuáles son los otros dos?
2. ¿Por qué los electrolitos, concretamente los iones Na^+ y K^+, son importantes para el funcionamiento del organismo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Anatomía de una célula tipo

Aunque ningún tipo de célula es exactamente igual a todas las demás, las células *sí* que tienen las mismas partes básicas y hay ciertas funciones comunes a *todas* ellas. Aquí se va a hablar de la **célula tipo,** que muestra estas características típicas.

En general, todas las células tienen tres regiones principales o partes: un *núcleo,* el *citoplasma* y una *membrana plasmática* (Figura 3.1a). El núcleo generalmente está situado cerca del centro de la célula. Se halla rodeado por el citoplasma semilíquido que, a su vez, está rodeado por la membrana plasmática que forma el límite exterior de la célula. (La Figura 3.4 en la

página 70 muestra con más detalle la estructura de la célula tipo tal y como se ve al microscopio electrónico).

El núcleo

Cualquier cosa que funcione, funciona mejor si es controlada. Para las células, el centro de control es el **núcleo,** que es lo que contiene a los genes. El material genético, o *ácido desoxirribonucléico (DNA),* es muy parecido a un plano que contiene todas las instrucciones necesarias para construir el cuerpo entero, de modo que, como cabe esperar, el DNA humano difiere del de una rana. El DNA tiene las instrucciones para construir *proteínas*. También es absolutamente necesario para la reproducción de las células. Una célula que haya perdido o expulsado su núcleo (por la razón que sea) sólo está programada para morir.

Aunque es más frecuente oval o esférica, la forma del núcleo suele adaptarse a la forma de la célula. Por ejemplo, si la célula es alargada, el núcleo suele ser igualmente alargado también. El núcleo tiene tres zonas o estructuras fácilmente reconocibles: la *envoltura nuclear,* los *nucleolos* y la *cromatina*.

Envoltura nuclear

El núcleo está limitado por una doble membrana llamada **envoltura nuclear** o **membrana nuclear** (véase la Figura 3.1b). Entre las dos membranas hay un "foso" o espacio lleno de líquido. Las dos capas de la envoltura nuclear se unen en varios puntos y hay **poros nucleares** que penetran a través de ellas. Como otras membranas celulares, la envuelta nuclear es selectivamente permeable, pero las sustancias pasan a través de ella de una forma mucho más libre que por otra parte gracias a sus poros relativamente grandes. La membrana nuclear encierra un líquido gelatinoso llamado *nucleoplasma*, en el que se encuentran suspendidos otros elementos nucleares.

Nucleolos

El núcleo contiene uno o más cuerpos redondeados pequeños y de color oscuro llamados **nucleolos.** Éstos son lugares en los que se juntan los ribosomas. Los *ribosomas,* la mayoría de los cuales finalmente migran al citoplasma, sirven de emplazamiento para que tenga lugar la síntesis de proteínas, como se ha visto brevemente.

Cromatina

Cuando una célula no se divide, su DNA se combina con proteínas y forma una red suelta de fibras desiguales llamada **cromatina,** que se encuentra dispersa por el núcleo. Cuando una célula se divide para formar dos células hijas, la cromatina se enrosca formando una espiral y se condensa en cuerpos densos que recuerdan a bastoncillos llamados **cromosomas,** de manera muy parecida a un muelle distendido que se vuelve más corto y grueso cuando se encoge. Conoceremos las funciones del DNA y el mecanismo de división celular en la sección de "Fisiología celular" que comienza en la página 76.

¿LO HAS ENTENDIDO?

3. ¿Cómo explicarías el sentido del término *célula tipo* a un compañero de clase?
4. ¿Cuál es la función general del núcleo de la célula?
5. ¿Qué es la envoltura nuclear?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

La membrana plasmática

La flexible **membrana plasmática** es una barrera frágil y transparente que contiene los elementos de la célula y los separa del entorno circundante. (El término *membrana celular* se utiliza a menudo en vez de membrana plasmática, pero como casi todos los orgánulos celulares están compuestos de membranas, se hace referencia específicamente a la superficie celular o membrana exterior con el término membrana plasmática). Aunque la membrana plasmática es importante a la hora de definir los límites de la célula, se trata principalmente de una cubierta o envoltura pasiva, como una "bolsa". Como se verá, su estructura única le permite desempeñar un papel dinámico en muchas actividades celulares.

La estructura de la membrana plasmática consiste en dos capas de lípidos (grasa) dispuestas "cola con cola", en las que flotan las moléculas de proteína (Figura 3.2). La mayoría de la parte lipídica son *fosfolípidos* (algunos con grupos de azúcar adheridos), pero también se encuentra una buena cantidad de *colesterol* en las membranas plasmáticas. (Las características de estos lípidos especializados se describen en el Capítulo 2). La bicapa lipídica, similar al aceite de oliva, forma el "tejido" básico de la membrana. Las "cabezas" polares de las moléculas de fosfolípidos con forma de piruleta son *hidrofílicas* (que "aman el agua") y son atraídas hacia el agua, que es el componente principal de los líquidos intercelulares y extracelulares, y por ello aparecen tanto en las superficies interna como externa de la membrana. Sus "colas" no polares, al ser *hidrofóbicas* (que "odian el agua"), la evitan y se alinean en el centro de la membrana. Esta propiedad de los fosfolípidos de orientarse permite que las membranas se vuelvan a sellar rápidamente cuando se perforan. La constitución hidrofóbica del interior de la membrana hace que la membrana plas-

P *Algunas proteínas flotan libremente en la fase lipídica de la membrana mientras que otras están ancladas en ubicaciones específicas. ¿Qué podría servir como estructuras de anclaje en el último caso?*

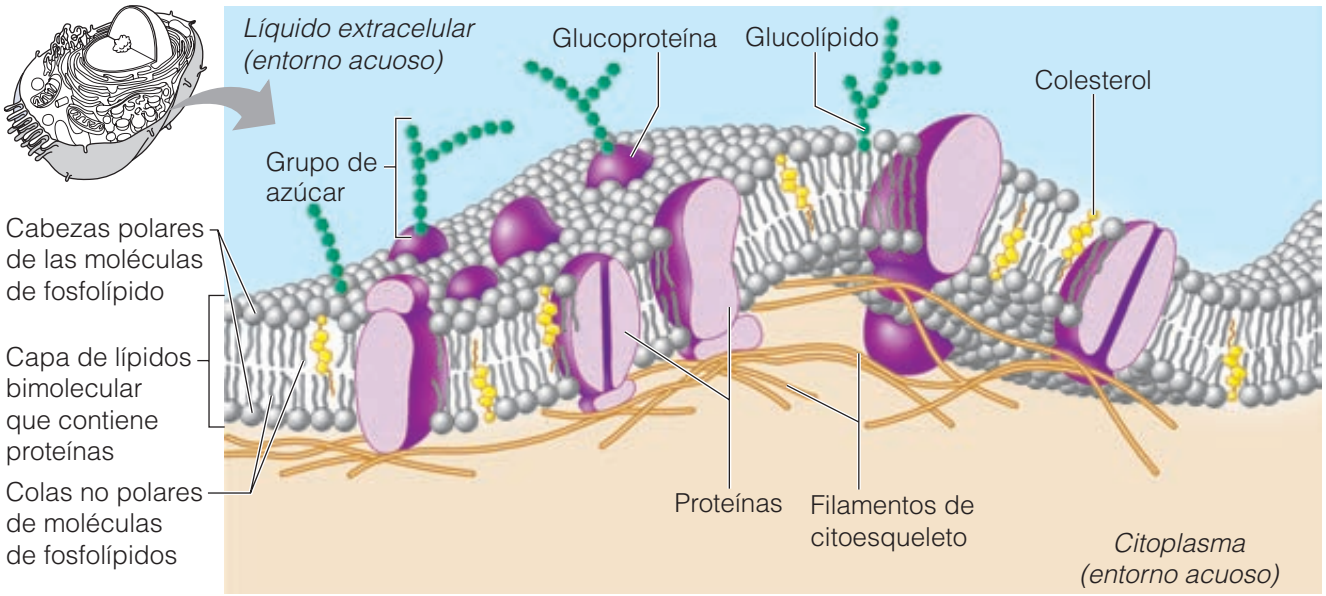


FIGURA 3.2 **Estructura de la membrana plasmática.**

mática sea relativamente impermeable a la mayoría de las moléculas solubles en agua. El colesterol ayuda a mantener líquida la membrana.

Las proteínas dispersas en la bicapa lipídica son responsables de la mayoría de las funciones especializadas de la membrana. Algunas proteínas son enzimas. Muchas de las proteínas que sobresalen del exterior de la célula son receptores de hormonas u otros mensajeros químicos, o bien son puntos de unión para anclar la célula a fibras o a otras estructuras dentro o fuera de la célula. La mayoría de las proteínas que se encuentran por la membrana están implicadas en funciones de transporte. Por ejemplo, algunas se juntan para formar canales de proteínas (*poros* iónicos minúsculos) por los que se pueden desplazar el agua y pequeñas moléculas hidrosolubles o iones; otras actúan como *transportes* que se adhieren a una sustancia y la hacen pasar a través de la membrana. Los grupos ramificados de los azúcares se unen a la mayor parte de las proteínas colindantes en el espacio extracelular. Estas "proteínas azucaradas" se conocen como *glucoproteínas* y, debido a su presencia, la superficie celular tiene una zona difusa, pegajosa y rica en azúcares llamada *glicocálix* o *glucocáliz*. (Se puede pensar que las células están recubiertas de azúcar). Entre otras funciones, estas glucoproteínas determinan el grupo sanguíneo, actúan como receptores a los que algunas bacterias, virus y toxinas pueden adherirse y juegan un papel en las interacciones intercelulares. En las células que se están transformando en células cancerosas aparecen unos cambios definidos en las glucoproteínas (el cáncer se trata en la sección "Más de cerca", en las págs. 102 y 103).

R *Los filamentos del citoesqueleto unidos a las proteínas de la membrana.*

Especializaciones en la membrana plasmática

Las especializaciones en la membrana plasmática —como las *microvellosidades* y las *uniones de membrana*— aparecen normalmente en las células (epiteliales) que forman los recubrimientos de los órganos huecos del organismo, como el intestino delgado (Figura 3.3). Las **microvellosidades** ("pequeños pelillos enmarañados") son minúsculas proyecciones en forma de dedo que aumentan enormemente el área de la superficie celular destinada a la absorción, por lo que los procesos pueden producirse en mucho menos tiempo.

Las **uniones de membrana** tienen una estructura variable dependiente de sus funciones.

- Las **uniones fuertes** son uniones impermeables que ligan entre sí a las células formando láminas impermeables que evitan que las sustancias pasen a través del espacio extracelular entre células. En las

uniones fuertes, las membranas plasmáticas adyacentes se fusionan entre sí como unidas por una cremallera. En el intestino delgado, por ejemplo, estas uniones evitan que se filtren las enzimas digestivas al torrente sanguíneo.

- Los **desmosomas** son uniones de anclaje que evitan que las células que están sometidas a tensiones mecánicas (como las células de la piel) se separen entre sí. Estas uniones tienen una estructura parecida a engrosamientos con forma de botón de membranas plasmáticas adyacentes (placas), que están conectadas entre sí mediante delgados filamentos de proteína. Otros filamentos de proteína más gruesos se extienden desde las placas en el interior de las células a las placas de los lados opuestos de la célula, formando así un sistema interno de alambres de refuerzo.
- Las **uniones gap,** que aparecen normalmente en el corazón y entre células embrionarias, sirven sobre todo para permitir la comunicación. Las moléculas químicas, como los nutrientes o los iones, pueden pasar directamente de una célula a la otra a través de ellas. En las uniones gap, las células vecinas están unidas por **conexonas,** que son cilindros huecos formados por proteínas que abarcan la anchura completa de las membranas colindantes.

¿LO HAS ENTENDIDO?

6. ¿Por qué los fosfolípidos (que constituyen la base de las membranas celulares) se organizan en una estructura de doble capa, cola con cola, en un medio acuoso?
7. Las caras externas de algunas proteínas de membrana tienen grupos de azúcares adheridos. ¿Cuáles son los tres papeles que juegan estas proteínas recubiertas de azúcar en la vida de una célula?
8. ¿Cuál es la función especial de las uniones gap? ¿Y de las uniones fuertes?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

El citoplasma

El **citoplasma** es el material celular que se encuentra fuera del núcleo y en el interior de la membrana plasmática. Se trata del lugar donde se realizan la mayor parte de las actividades de la célula, por lo que se podría pensar que el citoplasma es el "polígono industrial" de la célula. Aunque los primeros científicos pensaban que el citoplasma era un gel sin estructura, el microscopio electrónico ha revelado que tiene tres elementos principales: el *citosol,* los *orgánulos* y las *inclusiones*. El **citosol** es el fluido semitransparente en el que flotan los

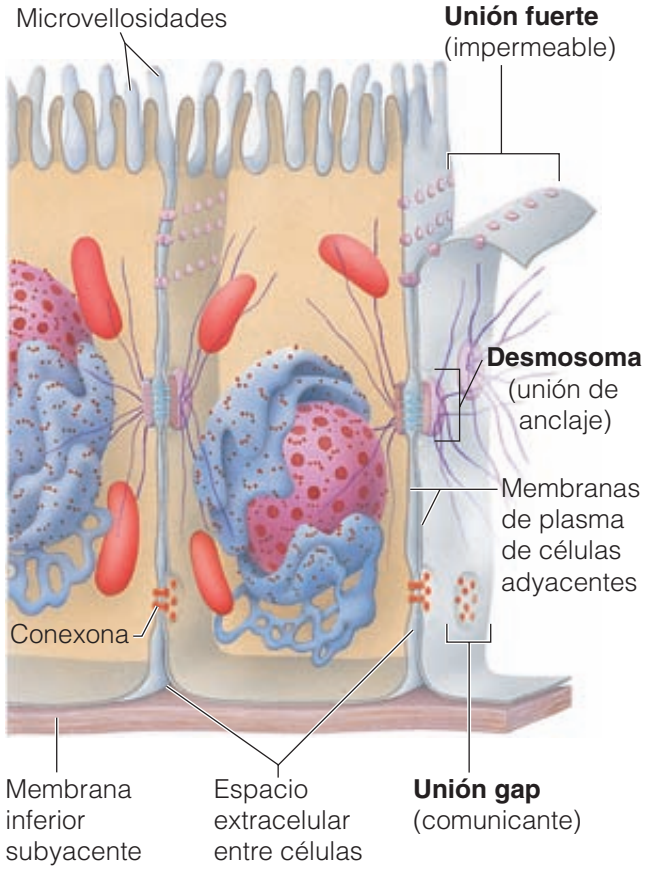


FIGURA 3.3 Uniones celulares. Se muestra una célula epitelial unida a las células adyacentes por los tres tipos comunes de uniones celulares: las uniones fuertes, los desmosomas y las uniones gap. También se ilustran las microvellosidades (que aparecen proyectándose desde la superficie celular libre).

demás elementos. Disueltos en el citosol, que está compuesto sobre todo por agua, están los nutrientes y una gran variedad de otros solutos (sustancias disueltas).

Los **orgánulos,** que en breve se describirán con detalle, son la maquinaria metabólica de la célula. Cada tipo de orgánulo está especializado en realizar una función específica para toda la célula; algunos sintetizan proteínas, otros hacen paquetes de esas proteínas, etc.

Las **inclusiones** son sustancias químicas que pueden estar presentes o no, dependiendo del tipo específico de cada célula. Muchas inclusiones son nutrientes y productos celulares almacenados. Incluyen las gotitas de lípidos comunes en las células grasas, los gránulos de glucógeno que abundan en las células hepáticas y musculares, los pigmentos como la melanina en las células de la piel y del cabello, las mucosidades y otros productos de secreción, así como diferentes tipos de cristales.

P *¿Qué componente del núcleo contiene los genes?*

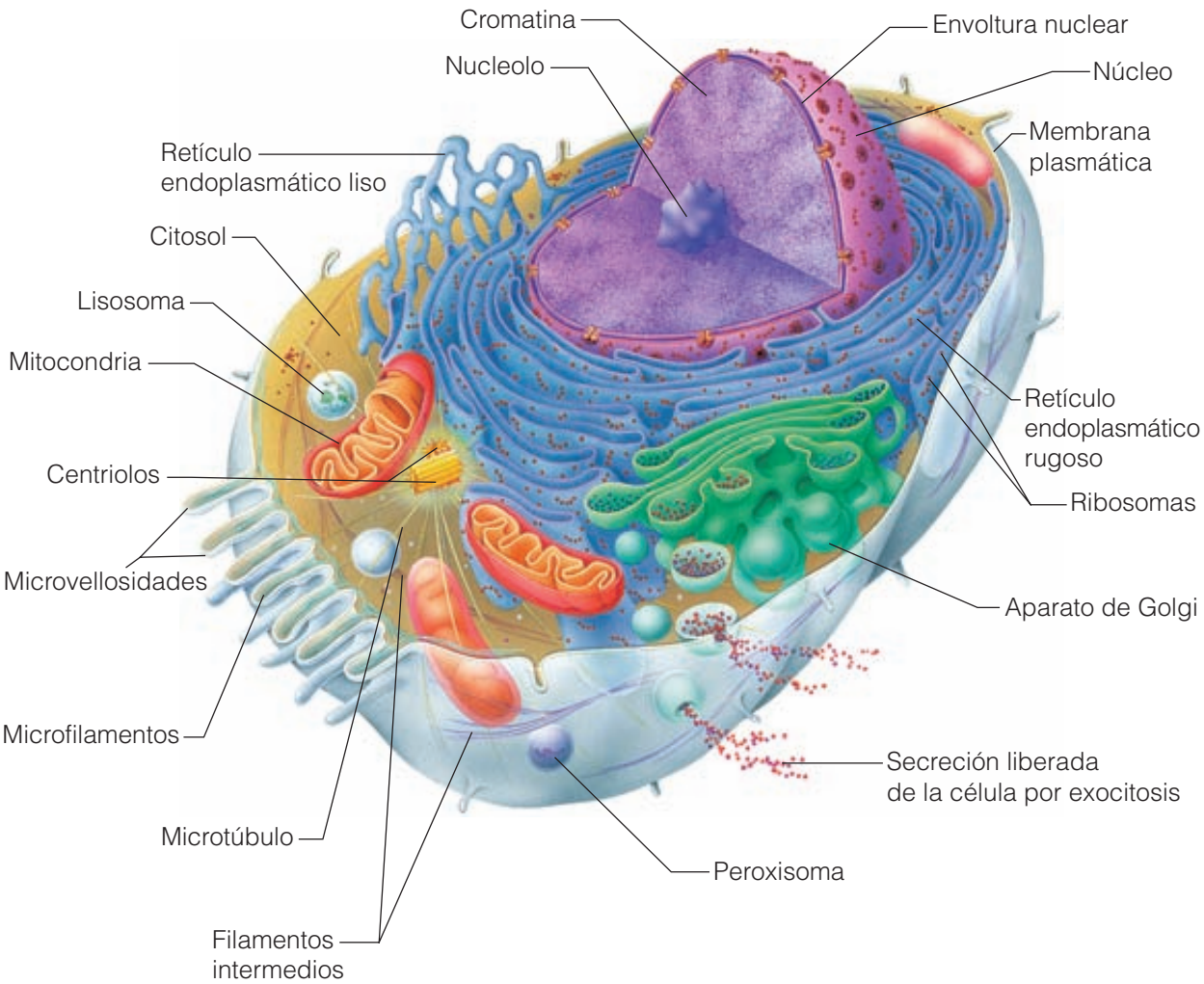


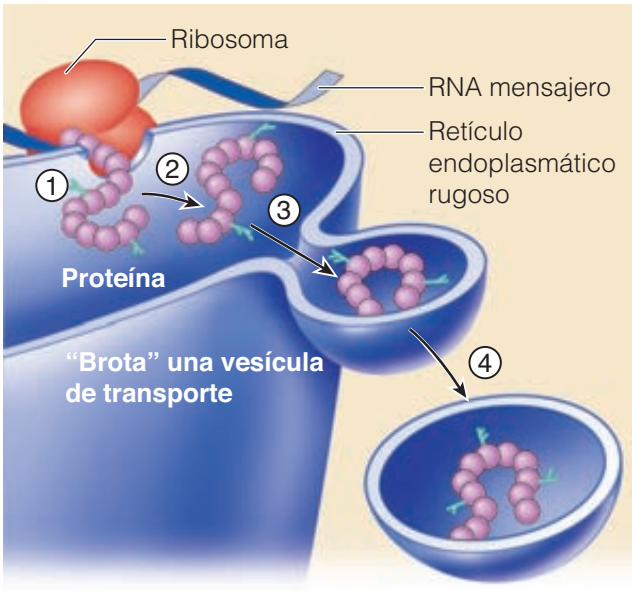
FIGURA 3.4 Estructura general de una célula. No existe ninguna célula que sea exactamente como ésta, pero este esquema de una célula tipo ilustra las características comunes a la mayoría de las células humanas.

Orgánulos citoplasmáticos

Los orgánulos citoplasmáticos, literalmente "pequeños órganos", son componentes celulares especializados (Figura 3.4), con cada uno de ellos realizando su función para mantener viva a la célula. Muchos orgánulos están unidos por una membrana similar a la membrana plasmática. El recubrimiento de las membranas de estos orgánulos les permite mantener un entorno interior muy diferente al del citosol circundante. Esta compartimentación es crucial en su capacidad de realizar funciones especializadas para la célula. Veamos lo que sucede en cada uno de los talleres de nuestra fábrica celular.

R *La cromatina.*

Mitocondria Se describe normalmente a las **mitocondrias** como pequeños haces de filamentos (*mitos* = hilo) o como orgánulos con forma de salchicha (véase la Figura 3.4), pero en las células vivas se retuercen, se alargan y cambian de forma casi continuamente. La pared mitocondrial consiste en una doble membrana,



1. Una vez que la proteína se ha sintetizado en el ribosoma, pasa a la cisterna del retículo endoplasmático rugoso.
2. En la cisterna, la proteína se pliega en su forma funcional. Puede que se añadan cadenas cortas de azúcares a la proteína (formando una glucoproteína).
3. La proteína es empaquetada en un minúsculo saco membranoso llamado vesícula de transporte.
4. La vesícula de transporte "brota" del retículo endoplasmático rugoso y viaja al aparato de Golgi para continuar su proceso, o se desplaza directamente a la membrana de plasma donde se secreta su contenido.

FIGURA 3.5 **Síntesis y exportación de una proteína a través del retículo endoplasmático rugoso.**

igual a *dos* membranas plasmáticas colocadas lado a lado. La membrana exterior es lisa y no tiene características especiales, pero la membrana interior tiene protuberancias con forma de plataforma llamadas *cristae* (crestas). Las enzimas disueltas en el fluido del interior de la mitocondria, así como las que forman parte de las membranas de las crestas, llevan a cabo las reacciones en las que el oxígeno se utiliza para romper las cadenas de los alimentos. A medida que esto ocurre, se libera energía. La mayor parte de la energía escapa en forma de calor, pero una parte se captura y se utiliza para formar *moléculas de ATP.* El ATP proporciona la energía para todo el funcionamiento celular, y cada célula viva necesita de un constante aporte de ATP para desempeñar sus numerosas actividades. Al ser las mitocondrias quienes proporcionan la mayor parte de este ATP, también son conocidas como las "plantas energéticas" de la célula.

Las células metabólicamente "ocupadas", como las hepáticas o las musculares, utilizan grandes cantidades de ATP y tienen cientos de mitocondrias. Por el contrario, las células que son relativamente inactivas (las de un óvulo no fertilizado, por ejemplo) sólo tienen unas pocas.

Ribosomas Los **ribosomas** son cuerpos muy pequeños, oscuros y con dos lóbulos formados por proteínas y por una variedad de RNA llamado RNA *ribosómico.* Los ribosomas son los lugares de la célula en los que se sintetizan las proteínas. Algunos ribosomas flotan con libertad en el citoplasma, donde fabrican las proteínas que operan en el propio citoplasma. Otros se unen a membranas y el conjunto ribosoma-membrana se llama *retículo endoplasmático rugoso.*

Retículo endoplasmático El **ER,** o **retículo endoplasmático** ("red en el interior del citoplasma") es un sistema de cisternas (túbulos o canales) rellenas de líquido que se enrollan y retuercen a través del citoplasma. Suponen aproximadamente la mitad de la membrana celular. Funcionan como un mini-sistema circulatorio de la célula porque proporcionan una red de canales para el transporte de sustancias (especialmente proteínas) de una parte de la célula a otra. Hay dos tipos de ER; una célula concreta puede tener las dos formas o sólo una, según sus funciones específicas.

El **retículo endoplasmático rugoso** se llama así porque está jalonado de ribosomas. Ya que casi todos los materiales de construcción de la membrana celular se forman en él o sobre él, el retículo endoplasmático rugoso puede ser considerado como la fábrica de la membrana celular. Las proteínas fabricadas en sus ribosomas pasan por los túbulos del ER rugoso, donde se pliegan en sus formas tridimensionales y son enviadas a continuación a otras áreas de la célula en las **vesículas de transporte** (Figura 3.5). El retículo endoplasmático rugoso abunda especialmente en las células que fabrican y exportan productos a partir de proteínas, por

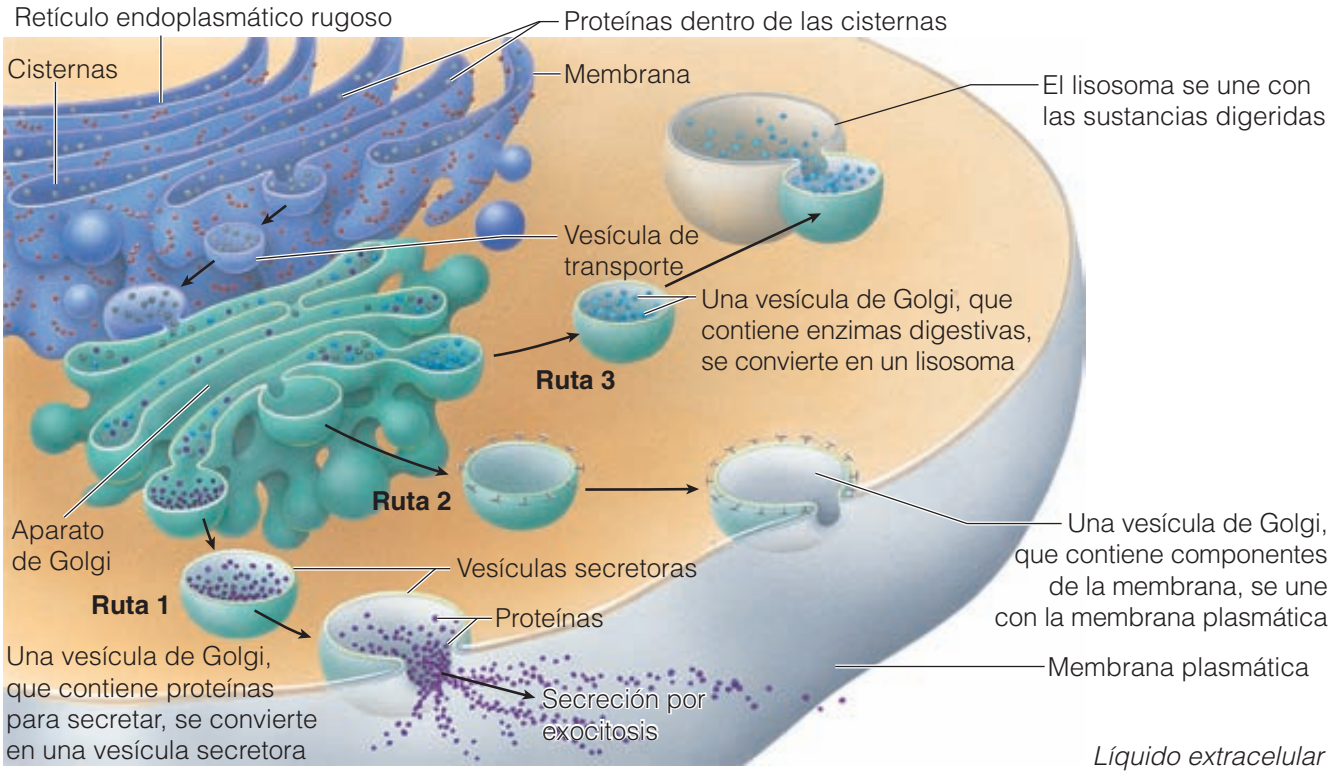


FIGURA 3.6 Papel del aparato de Golgi en el empaquetamiento de los productos del retículo endoplasmático rugoso. Las vesículas de transporte que contienen proteínas pinchan el retículo endoplasmático rugoso y emigran para fusionarse con el aparato de Golgi. A medida que pasan a través del aparato de Golgi, los productos elaborados a partir de proteínas son clasificados y ligeramente modificados. Después se empaquetan dentro de las vesículas, que abandonan el aparato de Golgi y se dirigen a varios destinos (rutas 1 a 3), como se ilustra en esta figura.

ejemplo las células pancreáticas, que producen enzimas digestivas para que sean enviadas al intestino delgado. Las enzimas que catalizan la síntesis de lípidos en la membrana se encuentran en la cara externa del retículo endoplasmático rugoso, donde los componentes básicos necesarios ya están disponibles.

Aunque el **retículo endoplasmático liso** se comunica con el rugoso, no juega ningún papel en la síntesis de proteínas. Por el contrario, tiene parte en el metabolismo de los lípidos (colesterol, síntesis de grasas y su rotura) y en la desintoxicación de medicinas y pesticidas. Por eso no es de extrañar que las células hepáticas estén llenas de ER liso, así como las células que producen hormonas con base esteroide, por ejemplo las células de los testículos masculinos que fabrican testosterona.

Aparato de Golgi El **aparato de Golgi** aparece como una pila de sacos membranosos aplastados, asociados con montones de vesículas minúsculas. Se suele encontrar cerca del núcleo y es el "policía de tráfico" más importante de las proteínas celulares. Su función principal es modificar y empaquetar proteínas (enviadas desde el ER rugoso mediante vesículas de transporte) de maneras específicas, dependiendo de su destino final (Figura 3.6).

A medida que las proteínas "marcadas" para su exportación se acumulan en el aparato de Golgi, los sacos se hinchan. Entonces, sus extremos hinchados, llenos de proteínas, estallan formando **vesículas de secreción** o **secretoras,** que viajan a la membrana plasmática. Cuando las vesículas llegan a esta membrana se unen a ella, la membrana se rompe y el contenido de los sacos se lanza hacia el exterior de la célula (ruta 1 en la Figura 3.6). La mucosidad se empaqueta de este modo, así como las enzimas digestivas fabricadas por las células pancreáticas.

Además de sus funciones de empaquetamiento, el aparato de Golgi pincha los sacos que contienen proteínas y fosfolípidos destinados a un lugar en la membrana plasmática (ruta 2 en la Figura 3.6) o en otras membranas celulares. También empaqueta enzimas hidrolíticas en sacos membranosos llamados *lisosomas* que permanecen en la célula (ruta 3 en la Figura 3.6) y que se verán con detalle a continuación.

Lisosomas Los **lisosomas** ("cuerpos de rotura"), que aparecen con distintos tamaños, son "sacos" membranosos que contienen enzimas digestivas poderosas. Como las enzimas lisosomales son capaces de digerir estructuras celulares gastadas o no utilizables y la mayoría de las sustancias extrañas que entran en la célula, los lisosomas funcionan como lugares de demolición de la célula. Son especialmente abundantes en los fagocitos, que son las células que se deshacen de las bacterias y de los restos de células. Como se ha descrito, las enzimas que contienen están formadas por ribosomas y empaquetadas por el aparato de Golgi.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La membrana lisosomal suele ser bastante estable, pero se vuelve frágil cuando se daña la célula, no tiene oxígeno y cuando hay demasiada cantidad de vitamina A. La ruptura de los lisosomas da como resultado la auto-digestión de la célula. ▲

Peroxisoma Los **peroxisomas** son sacos membranosos que contienen poderosas enzimas oxidasa que utilizan oxígeno molecular (O_2) para desintoxicar numerosas sustancias dañinas o venenosas, incluyendo el alcohol y el formaldehído. Sin embargo, su función más importante es "desarmar" a los peligrosos radicales libres. Los **radicales libres** son sustancias químicas muy reactivas con electrones desparejados que pueden modificar la estructura de las proteínas y los ácidos nucleicos. Aunque los radicales libres son subproductos normales del metabolismo celular, si se les permite acumularse pueden tener efectos devastadores sobre las células. Los peroxisomas convierten los radicales libres en peróxido de hidrógeno (H_2O_2), función indicada en su denominación *(peroxisomas* = "cuerpos que producen o utilizan peróxido"). La enzima *catalasa* convierte el exceso de peróxido de hidrógeno en agua. Los peroxisomas son especialmente numerosos en las células hepáticas y renales, muy activas en la desintoxicación.

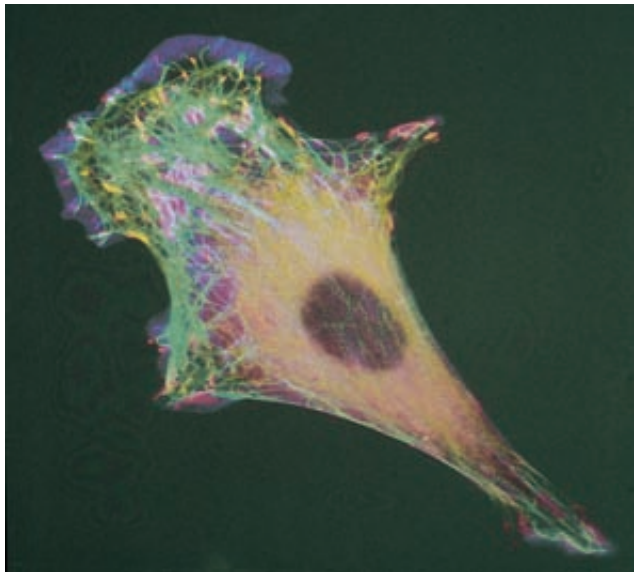
Aunque los peroxisomas parecen pequeños lisosomas (véase la Figura 3.4), no surgen "brotando" del aparato de Golgi. En su lugar, se replican simplemente partiéndose en dos, al igual que hacen las mitocondrias.

Citoesqueleto Una elaborada red de estructuras proteínicas se extiende por el citoplasma. Esta red, o **citoesqueleto,** actúa como los "huesos y músculos" de una célula, proporcionando un marco interno que determina la forma de la célula, sirve de soporte a otros orgánulos y suministra la maquinaria necesaria para el transporte intracelular y para varios tipos de movimiento celular. De sus elementos más grandes a los más pequeños, el citoesqueleto está compuesto por microtúbulos, filamentos intermedios y microfilamentos (Figuras 3.4 y 3.7). Aunque las funciones se solapan ligeramente, se puede decir que los fuertes y estables **filamentos intermedios,** con forma de cuerda, ayudan a formar los desmosomas (véase la Figura 3.3) y proporcionan alambres internos como cuerdas que resisten las fuerzas de tira y afloja existentes en la célula. Los **microfilamentos** (como la *actina* y la *miosina)* están implicados principalmente en la motilidad celular y en la producción de cambios en la forma de la célula. Los **microtúbulos,** con forma de tubo, determinan la forma general de una célula y la distribución de los orgánulos. Son muy importantes durante la división celular, como se describe en las páginas 83-85.

Centriolos Los **centriolos** emparejados se encuentran cerca del núcleo (véase la Figura 3.4). Son cuerpos con forma de bastoncillo situados en ángulo recto uno respecto del otro; internamente están compuestos por finos microtúbulos. Los centriolos son bien conocidos por su papel generando microtúbulos y durante la división celular, ya que dirigen la formación del *huso mitótico* (véase la Figura 3.15 en la pág. 85).

Además de las estructuras celulares descritas anteriormente, algunas células tienen proyecciones llamadas **cilios** ("pestañas"), extensiones celulares con forma de látigo que mueven sustancias a lo largo de la superficie celular. Por ejemplo, las células ciliadas del recubrimiento del sistema respiratorio propulsan la mucosidad hacia arriba y lejos de los pulmones. Allí donde aparecen los cilios, suele haber muchos de ellos proyectándose desde la superficie celular expuesta.

Cuando una célula está a punto de fabricar cilios, sus centriolos se multiplican y se alinean debajo de la membrana plasmática en la superficie celular libre. Entonces, empiezan a surgir microtúbulos desde los centriolos y presionan la membrana, formando las proyecciones. Si las proyecciones formadas por los centriolos son muy largas, reciben el nombre de **flagelos.** El único ejemplo de célula flagelada en el cuerpo humano es el espermatozoide, que posee un único flagelo propulsor llamado cola (Figura 3.8g). *Date cuenta de que los cilios propulsan a otras sustancias por la superficie celular, mientras que un flagelo propulsa a la misma célula.*



(a)

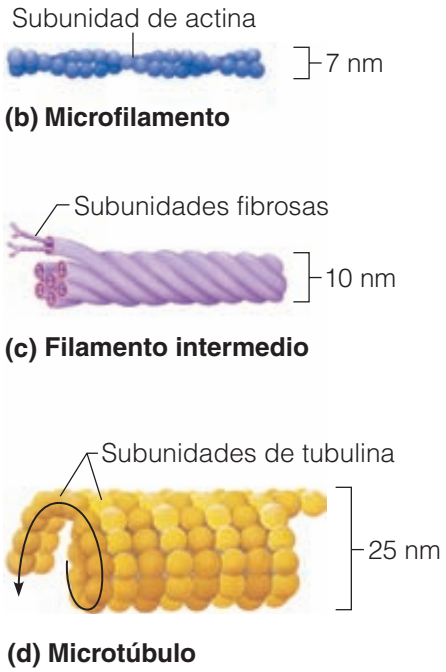


FIGURA 3.7 **El citoesqueleto. (a)** En este micrógrafo del citoesqueleto de una célula nerviosa, los microtúbulos aparecen en verde y los microfilamentos en azul. Los filamentos intermedios forman la mayor parte del resto de la red. **(b–d)** Figuras diagramáticas de elementos del citoesqueleto.

¿LO HAS ENTENDIDO?

9. ¿En qué se diferencian el citosol y el citoplasma?
10. ¿Qué dos orgánulos son sacos de enzimas y cuál es la función de cada uno de ellos?
11. ¿En qué orgánulo se desarrolla principalmente la síntesis de ATP?
12. Nombra los tres tipos de estructuras de proteínas que forman el citoesqueleto. ¿Qué tipo ayuda a que se formen los desmosomas? ¿Cuál está implicado en la motilidad celular?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Diversidad celular

Hasta ahora, en este capítulo nos hemos centrado en una célula humana tipo. Sin embargo, los billones de células del cuerpo humano se componen de unos 200 tipos diferentes de células que varían mucho en tamaño, forma y función. Entre ellas se incluyen células grasas con forma de esfera, glóbulos rojos con forma de disco, células nerviosas con ramificaciones y células de los túbulos renales con forma de cubo. La Figura 3.8 ilustra cómo la forma de las células y el número relativo de los distintos orgánulos que contienen se relacionan con funciones específicas de las células. Echemos un vistazo a algunas de estas células especializadas.

1. **Células que conectan partes del cuerpo:**
   - *Fibroblasto.* La forma alargada de esta célula se encuentra a lo largo de las fibras, parecidas a cables, que secreta. Tiene abundante retículo endoplasmático rugoso y un gran aparato de Golgi para fabricar y secretar los componentes proteínicos básicos de esas fibras.
   - *Eritrocito (glóbulo rojo).* Esta célula transporta oxígeno en la sangre. Su forma de disco cóncavo proporciona una superficie adicional para la captación de oxígeno y da forma a la célula para que fluya fácilmente por el torrente sanguíneo. En los eritrocitos se empaqueta tanto pigmento transportador de oxígeno que todos los demás orgánulos se apartan para dejarles sitio.
2. **Célula que cubre y reviste órganos del cuerpo:**
   - *Célula epitelial.* La forma hexagonal de esta célula es exactamente como una "célula" en una colmena o un panal. Esta forma permite

que las células epiteliales se puedan juntar en haces. Una célula epitelial tiene abundantes filamentos intermedios que evitan los desgarros cuando el epitelio sufre roces o tirones.

3. **Células que mueven órganos y partes del cuerpo:**
   - *Células del músculo esquelético y del músculo liso.* Estas células son alargadas y están llenas de filamentos contráctiles, de modo que se pueden acortar fuertemente y mover los huesos o cambiar el tamaño de órganos internos.
4. **Célula que almacena nutrientes:**
   - *Célula grasa.* La enorme forma esférica de una célula grasa está producida por una gran gotita de lípido existente en su citoplasma.
5. **Célula que combate enfermedades:**
   - *Macrófago (célula fagocítica).* Esta célula extiende sus largos seudópodos ("pies falsos") para arrastrarse por los tejidos y alcanzar los lugares donde haya una infección. La gran cantidad de lisosomas que tiene esta célula digiere los microorganismos infecciosos que captura.
6. **Célula que reúne información y que controla las funciones del cuerpo:**
   - *Célula nerviosa (neurona).* Mediante largas prolongaciones o dendritas, esta célula recibe mensajes y los transmite a otras estructuras del organismo. Las prolongaciones están cubiertas de una extensa membrana plasmática y poseen abundante ER rugoso para sintetizar los componentes de la membrana.
7. **Células implicadas en la reproducción:**
   - *Oocito (femenino).* Es la célula más grande del organismo. Esta célula óvulo contiene varias copias de todos los orgánulos para su distribución a todas las células hijas que se forman cuando el óvulo fertilizado se divide para convertirse en un embrión.
   - *Espermatozoide (masculino).* Esta célula es alargada; su forma está concebida para nadar hacia el óvulo y fertilizarlo. Su flagelo actúa como un látigo móvil que propulsa al espermatozoide.

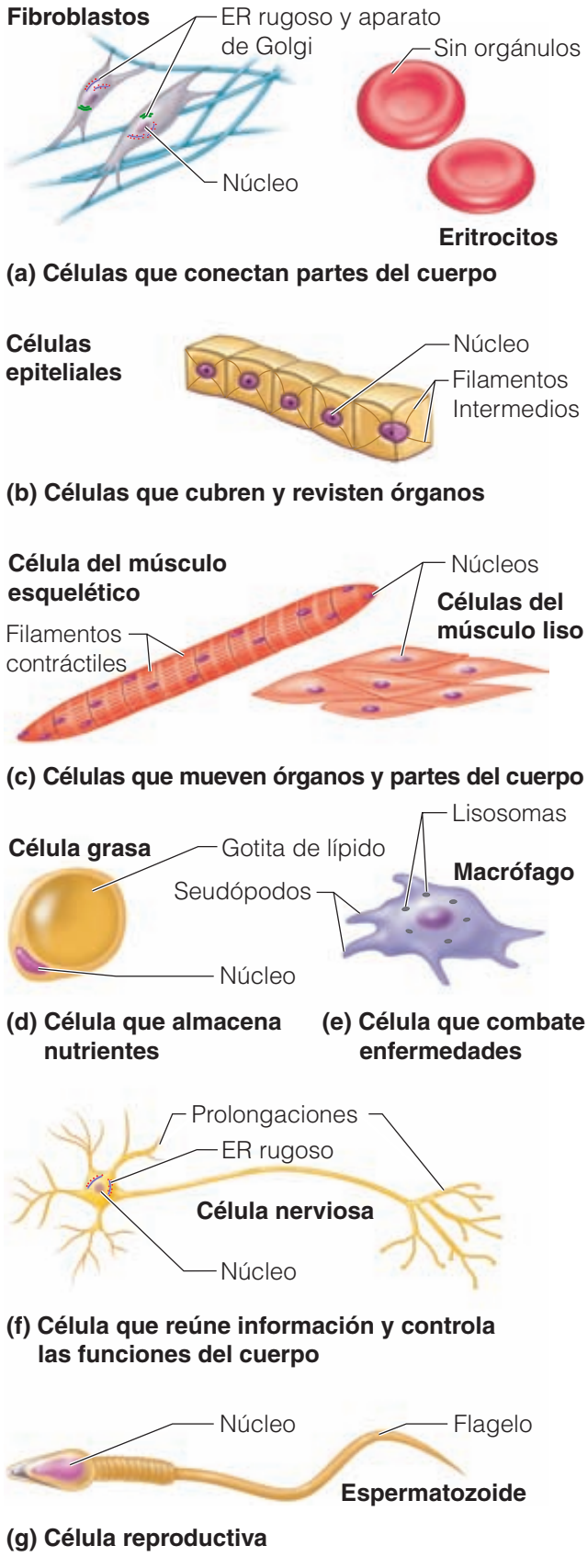


FIGURA 3.8 **Diversidad celular.** La forma de las células humanas y la abundancia relativa de sus diversos orgánulos se corresponde con su función en el cuerpo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

13. Nombra los dos tipos de células implicadas en la conexión de partes o zonas del cuerpo.
14. ¿Cuál es la función principal de una neurona?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Fisiología celular

Como ya se ha mencionado, cada una de las partes internas de una célula está diseñada para realizar una función específica para la célula. La mayoría de las células tienen la capacidad de *metabolizar* (utilizar nutrientes para construir nuevo material celular, degradar sustancias y fabricar ATP), *digerir alimentos, eliminar sustancias de deshecho, reproducirse, crecer, moverse y responder a un estímulo* (irritabilidad). La mayoría de estas funciones se tratan con detalle en capítulos posteriores. Por ejemplo, el metabolismo se estudia en el Capítulo 14 y la capacidad de reaccionar ante un estímulo en el Capítulo 7. Aquí sólo se van a considerar las funciones del transporte de membrana (los medios por los que las sustancias atraviesan las membranas plasmáticas), la síntesis de proteínas y la reproducción celular (división celular).

Transporte de membrana

El medio líquido a ambos lados de la membrana plasmática es un ejemplo de solución. Es importante que entiendas las soluciones de verdad antes de profundizar en una explicación sobre el transporte de membrana. Básicamente, una **solución** es una mezcla homogénea de dos o más componentes. Como ejemplos están el aire que respiramos (una mezcla de gases), el agua del mar (una mezcla de agua y sales) y el alcohol isopropílico (una mezcla de agua y alcohol). La sustancia presente en mayor cantidad en una solución recibe el nombre de **disolvente** (o medio dispersante). El agua es el disolvente principal del organismo. Los componentes o las sustancias presentes en cantidades más pequeñas se denominan **solutos.** Los solutos de una solución son tan minúsculos que no se depositan.

El **líquido intracelular** (conjuntamente el nucleoplasma y el citosol) es una solución que contiene pequeñas cantidades de gases (oxígeno y dióxido de carbono), nutrientes y sales disueltos en agua, así como el **líquido intersticial,** que baña continuamente el exterior de nuestras células. El líquido intersticial puede imaginarse como una "sopa" rica, nutritiva y bastante original. Contiene miles de ingredientes, incluidos nutrientes (aminoácidos, azúcares, ácidos grasos, vitaminas), sustancias reguladoras como las hormonas y los neurotransmisores, sales y productos de deshecho. Para seguir estando sana, cada célula debe extraer de esta sopa la cantidad exacta de las sustancias que necesita en momentos específicos y rechazar el resto.

La membrana plasmática es una barrera selectivamente permeable. La **permeabilidad selectiva** significa que una barrera permite que algunas sustancias pasen a través de ella, mientras que impide el paso de otras. Así, permite que los nutrientes entren en la célula pero mantiene fuera muchas sustancias indeseables. Al mismo tiempo, las valiosas proteínas celulares y otras sustancias se mantienen dentro de la célula, mientras que a las de deshecho se les permite salir.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La propiedad de la permeabilidad selectiva sólo es propia de células sanas y no dañadas. Cuando una célula muere o está seriamente dañada, su membrana plasmática ya no puede ser selectiva y se vuelve permeable a casi todo. Este fenómeno es evidente cuando alguien ha recibido quemaduras graves. Líquidos valiosísimos, proteínas e iones se "escapan" de las células muertas o dañadas. ▲

El movimiento de sustancias a través de la membrana plasmática ocurre básicamente de dos maneras: pasiva o activamente. En los procesos de **transporte pasivo,** las sustancias son transportadas a través de la membrana sin que la célula tenga que gastar energía. En los procesos de **transporte activo,** la célula proporciona la energía metabólica (ATP) que facilita el proceso de transporte.

Procesos de transporte pasivo: difusión y filtración

La *difusión* es un medio importante de transporte pasivo a través de la membrana para cada célula del cuerpo. El otro proceso de transporte pasivo, la *filtración,* suele ocurrir sólo a través de las paredes capilares. Examinemos ahora en qué se diferencian estos dos tipos de transporte pasivo.

Difusión La **difusión** es el proceso por el que las moléculas (y los iones) se desplazan de una zona en la que están más concentrados (más numerosos) a otra zona en la que están menos concentrados (hay menor número de ellos). Todas las moléculas tienen *energía cinética* (la energía del movimiento), como se describió en el Capítulo 2, y cuando las moléculas se mueven al azar a grandes velocidades, chocan y cambian de dirección con cada colisión. El efecto global de este movimiento errático es que las moléculas se mueven

bajando su **gradiente de concentración.** Como la fuente de energía de las moléculas es su propia energía cinética, la velocidad de la difusión se ve afectada por el tamaño de las moléculas (más rápidas cuanto más pequeñas) y por la temperatura (más rápido cuanto más caliente).

Un ejemplo te debería ayudar a comprender la difusión: imagínate sirviéndote una taza de café y añadiéndole un terrón de azúcar (pero sin darle vueltas). Después de que añades el azúcar, te llaman por teléfono para que vayas a trabajar. No llegas a beberte el café. Cuando vuelves por la tarde, te das cuenta de que el café sabe dulce aun cuando no lo removiste. El motivo es que las moléculas de azúcar estuvieron moviéndose todo el día y, finalmente, como resultado de su actividad se distribuyeron suficientemente por el café como para endulzar toda la taza. Un ejemplo de laboratorio que quizás algunos estudiantes conozcan; se ilustra en la Figura 3.9.

El interior hidrofóbico de la membrana plasmática es una barrera física a la difusión. Sin embargo, las moléculas se difundirán a través de la membrana plasmática si (1) son lo suficientemente pequeñas como para pasar por sus poros (canales formados por proteínas de la membrana), (2) pueden disolverse en la porción grasa de la membrana o (3) un transportador de membrana les ayuda. La difusión no asistida de solutos mediante la membrana plasmática (o cualquier membrana selectivamente permeable) recibe el nombre de **difusión simple** (Figura 3.10a). Los solutos así transportados, o son solubles en lípidos (grasas, vitaminas solubles en grasa, oxígeno, dióxido de carbono) o son suficientemente pequeños como para pasar por los poros de la membrana (algunos iones minúsculos, como los iones cloruro, por ejemplo).

La difusión del agua a través de una membrana selectivamente permeable como la plasmática se denomina **ósmosis.** Debido a que el agua es muy polar, se ve repelida por el interior lipídico no polar de la membrana plasmática, pero puede, y de hecho lo hace, pasar fácilmente a través de poros especiales llamados *aquaporinas* ("poros de agua") creados por las proteínas en la membrana (Figura 3.10d). La ósmosis hacia dentro y hacia fuera de las células está ocurriendo todo el tiempo a medida que el agua disminuye su gradiente de concentración.

Otro ejemplo de difusión es la **difusión facilitada.** Ésta facilita el paso de ciertas sustancias necesarias (sobre todo glucosa) que son insolubles en lípidos y demasiado grandes para pasar por los poros de membrana. Aunque la difusión facilitada sigue las leyes de la difusión, es decir, que las sustancias descienden su propio gradiente de concentración, o se utiliza un canal de proteínas en la membrana (Figura 3.10c), o bien una molécula de proteína que actúa como transportadora es necesaria como vehículo de transporte (Figura 3.10b). Por ello, algunas de las proteínas de la membrana plasmática forman canales o actúan como transportes para mover glucosa y otros solutos pasivamente por la membrana y ponerlos a disposición para que la célula los utilice.

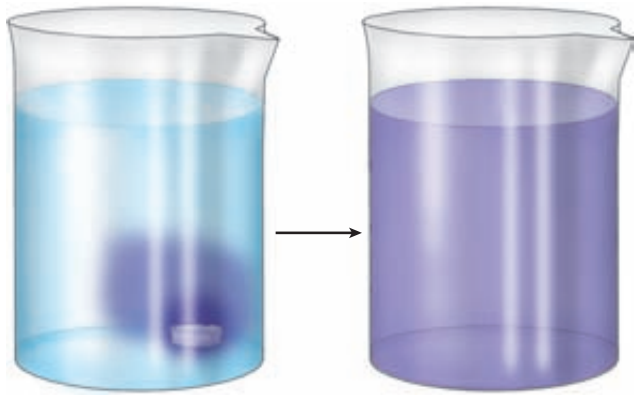
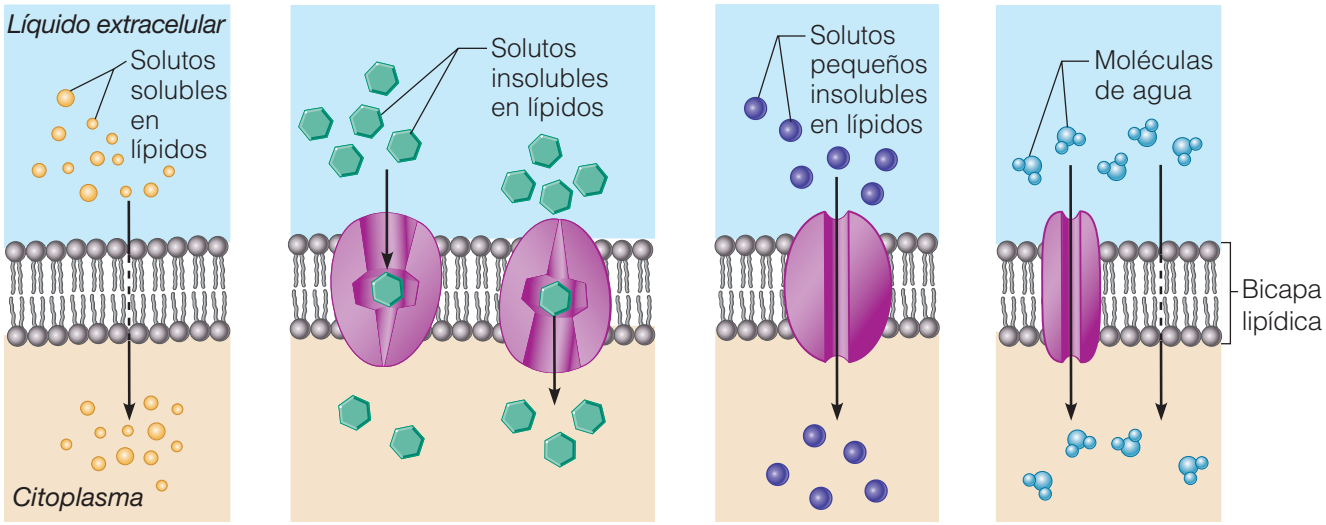


FIGURA 3.9 Difusión. Las partículas en solución se mueven continuamente, colisionando con otras partículas. Como resultado, las partículas tienden a apartarse de las áreas en las que están más concentradas para distribuirse de modo más igualado, como muestra la difusión de moléculas de colorante en un vaso de laboratorio lleno de agua.

Las sustancias que pasan hacia las células y fuera de ellas por difusión les ahorran una gran cantidad de energía. Si se considera la vital importancia del agua, la glucosa y el oxígeno para las células, queda patente qué necesarios son estos procesos de transporte pasivo. La glucosa y el oxígeno entran continuamente en las células (donde se encuentran en menos concentración debido a que las células los están utilizando de forma constante) y el dióxido de carbono (un producto de deshecho de la actividad celular) sale continuamente de las células hacia la sangre (donde está en menor concentración).

Filtración La **filtración** es el proceso por el que se fuerza al agua y a los solutos a pasar por una membrana o pared capilar mediante *presión hidrostática.* En el cuerpo, la presión hidrostática suele ser ejercida por la sangre. Como la difusión, la filtración es un proceso pasivo en el que está implicado un gradiente. Sin embargo, en la filtración el gradiente es un **gradiente de presión** que empuja el líquido que contiene el soluto *(filtrado)* desde la zona con más presión a la de menor presión. La filtración es necesaria para que los riñones hagan bien su trabajo. En los riñones, el agua y pequeños solutos filtran de los capilares hacia los túbulos renales porque la presión de la sangre en los

P *¿Qué "facilita" la difusión facilitada?*



(a) Difusión simple directa a través de la bicapa de fosfolípidos

(b) Difusión facilitada mediante transporte gracias a la proteína transportadora específica de una sustancia química; la unión del sustrato hace que la proteína transportadora sufra un cambio en su forma

(c) Difusión facilitada mediante un canal a través de una proteína de membrana; sobre todo iones seleccionados según su tamaño y carga

(d) Osmosis, difusión de agua a través de una proteína de membrana específica (aquaporina) o a través de la bicapa lipídica

FIGURA 3.10 Difusión a través de la membrana plasmática.
(a) En la difusión simple, las moléculas solubles en grasa se difunden directamente a través de la bicapa lipídica de la membrana plasmática, en la que pueden disolverse. **(b)** En la difusión facilitada utilizando transportes de proteínas, las grandes moléculas no solubles en lípidos (por ejemplo la de glucosa) se mueven por la membrana mediante una proteína transportadora. **(c)** En la difusión facilitada mediante canales de membrana, pequeñas partículas polares o cargadas se difunden a través de los canales de membrana construidos por proteínas de canal. **(d)** En la ósmosis, el agua se mueve por la membrana plasmática a través de unos canales específicos (aquaporinas) o pasa directamente a través de la porción lipídica de la membrana.

capilares es mayor que en los túbulos. Parte del filtrado así formado se vuelve finalmente orina. La filtración no es muy selectiva. En líneas generales, sólo las células de la sangre y las moléculas de proteínas demasiado grandes para pasar a través de los poros de la membrana quedan retenidas.

Procesos de transporte activo

Cuando una célula usa parte de su suministro de ATP para mover sustancias por la membrana, el proceso se denomina *activo*. Las sustancias que se han movido activamente suelen no poder pasar por difusión en el sentido deseado. Puede que sean demasiado grandes para pasar por los canales de la membrana, puede que la membrana carezca de proteínas transportadoras especiales para su transporte, puede que no sean capaces de disolverse en el interior graso o puede que tengan que moverse *en contra* de sus gradientes de concentración. Los dos mecanismos más importantes de transporte activo de membrana son el transporte activo y el transporte vesicular.

R *Las proteínas transportadoras o canales de proteínas.*

Transporte activo A veces llamado *bombeo de solutos,* el **transporte activo** es similar a la difusión facilitada mediante un transportador, descrito con anterioridad en que ambos procesos precisan de proteínas transportadoras que se combinan reversiblemente con las sustancias

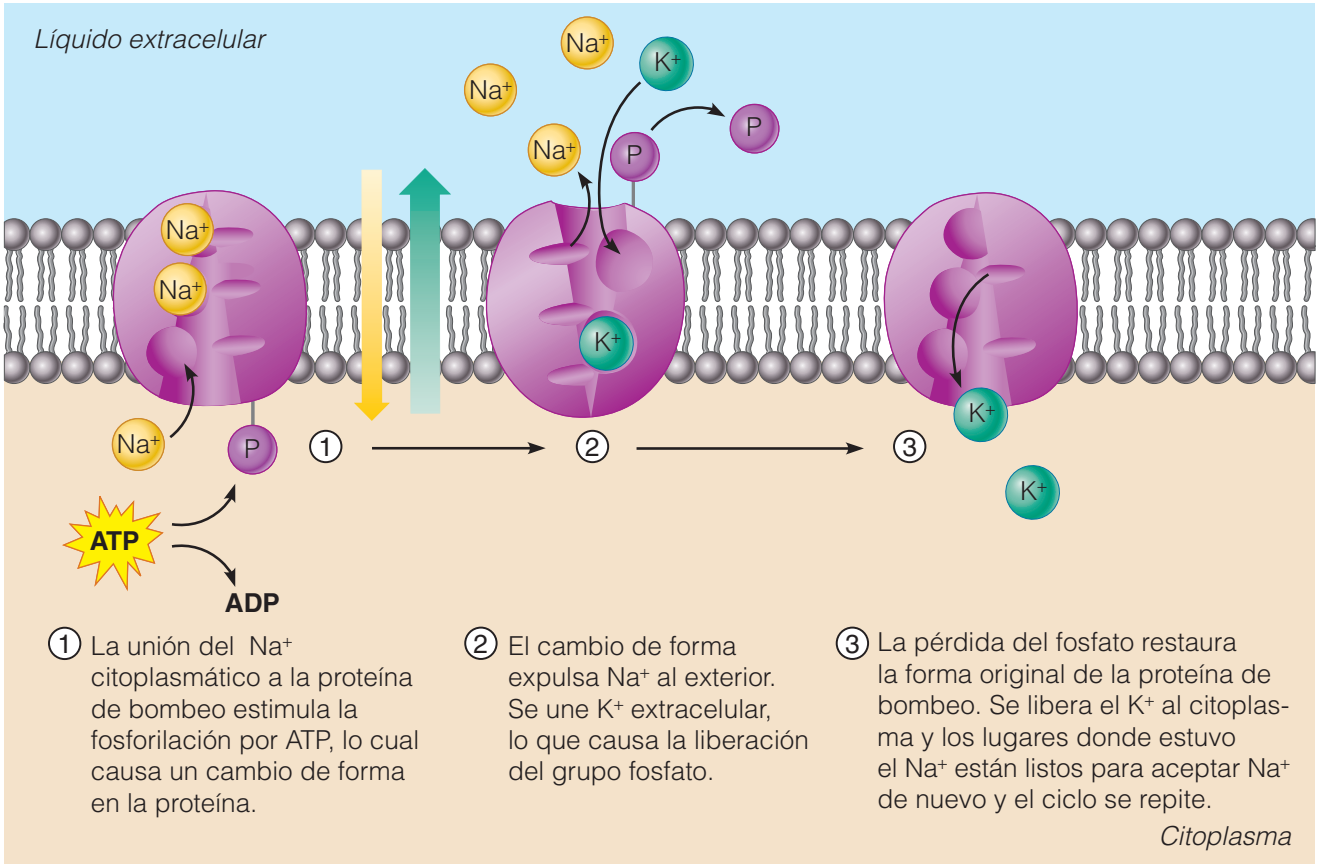


FIGURA 3.11 Funcionamiento de bombeo del conjunto sodio-potasio, un bombeo de solutos. El ATP proporciona la energía para que una proteína de bombeo saque tres iones sodio de la célula y meta dos iones de potasio dentro de la célula. Ambos iones se mueven en contra de sus gradientes de concentración.

que se van a transportar a través de la membrana. No obstante, el motor de la difusión facilitada es la energía cinética de las moléculas que se difunden, mientras que el transporte activo utiliza ATP para suministrar energía a sus proteínas transportadoras, llamadas **bombeos de solutos.** Los aminoácidos, algunos azúcares y la mayoría de los iones son transportados por bombas de solutos. En la mayoría de los casos, estas sustancias se mueven *en contra* de sus gradientes de concentración (o eléctricos), es decir, en el sentido contrario en el que dichas sustancias se moverían naturalmente por difusión, lo cual explica la necesidad de energía en forma de ATP. Los aminoácidos son necesarios para construir proteínas celulares, pero son demasiado grandes para pasar a través de los canales de membrana no solubles en lípidos. El **bombeo de sodio-potasio** que simultáneamente transporta iones de sodio (Na^+) hacia el exterior de la célula e iones de potasio (K^+) hacia el interior de la célula es absolutamente necesario para la transmisión normal de impulsos a través de las células nerviosas (Figura 3.11). Hay más iones de sodio fuera de las células que dentro de ellas, de modo que tienden a permanecer en la célula a menos que ésta utilice ATP para forzarlos o "bombearlos" hacia fuera. Del mismo modo, hay relativamente más iones de potasio dentro de las células que en el líquido intersticial (extracelular), y los iones de potasio que se filtran hacia fuera de las células deben ser activamente bombeados de nuevo hacia adentro. Como cada bombeo en la membrana plasmática sólo transporta sustancias específicas, el transporte activo facilita un modo de que la célula sea muy selectiva en los casos en los que las sustancias no puedan pasar por difusión. (No hay transporte sin bombeo).

Transporte vesicular Algunas sustancias no pueden pasar por la membrana plasmática mediante el transporte pasivo o el transporte activo. El **transporte vesicular,** que implica ayuda del ATP, mueve sustancias hacia den-

MÁS DE CERCA

TERAPIA INTRAVENOSA Y "TÓNICOS" CELULARES

¿Por qué es esencial que el personal médico administre sólo la recta *solución intravenosa (IV* o dentro de la vena) a los pacientes?

Piensa que hay un tráfico constante de moléculas pequeñas por la membrana plasmática. Aunque la difusión de solutos a través de la membrana es bastante lenta, la ósmosis, que mueve agua a través de la membrana, ocurre muy rápidamente. Una persona que administre una intravenosa debe utilizar la solución correcta para proteger las células del paciente de una deshidratación que pondría en peligro su vida o de la explosión debida a una entrada excesiva de agua.

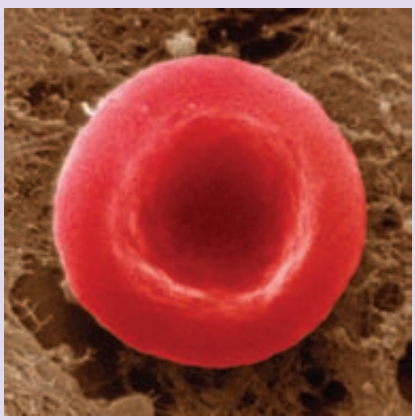
La tendencia de una solución a retener el agua o a "tirar" agua dentro de ella se denomina presión osmótica y está directamente relacionada con la concentración de solutos en la solución. Cuanto mayor sea la concentración de solutos, mayor será la presión osmótica y mayor también la tendencia del agua a entrar en la solución. A muchas moléculas, particularmente proteínas y algunos iones, se les impide su difusión a través de la membrana plasmática. En consecuencia, cualquier cambio en su concentración a un lado de la membrana fuerza al agua a moverse de un lado de la membrana a otro, haciendo que las células pierdan o ganen agua.

> *"Las células situadas en soluciones hipotónicas se hinchan rápidamente."*

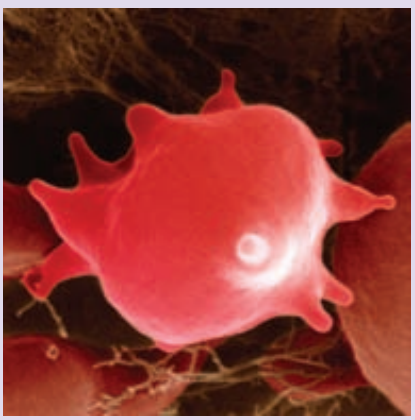
La capacidad de una solución para cambiar el tamaño y forma de las células mediante la modificación de la cantidad de agua que contienen se llama *tonicidad* (*ton* = fuerza).

Las soluciones *isotónicas* ("con la misma tonicidad") (como el Ringer Lactato®, la dextrosa al 5% y la solución salina al 0,9%) tienen las mismas concentraciones de soluto y de agua que las células. Las soluciones isotónicas no causan cambios visibles en las células y, cuando dichas soluciones penetran en el torrente sanguíneo, los glóbulos rojos mantienen su tamaño normal y su forma de disco (Foto a). Como puedes suponer, el líquido intersticial y la mayoría de las soluciones intravenosas son soluciones isotónicas.

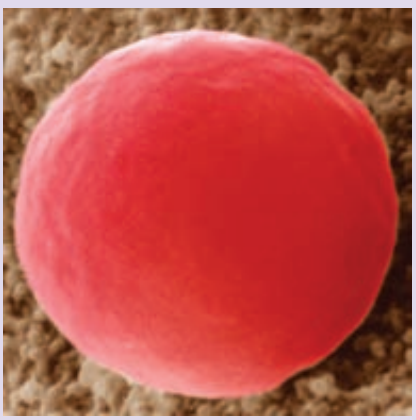
Si los glóbulos rojos son expuestos a una solución *hipertónica* (una solución que contiene más solutos o sustancias en disolución que las que hay dentro de las células), éstas empezarán a *encogerse*. Esto se debe a que el agua está en mayor concentración dentro de la célula que fuera, de modo que sigue su



(a) Glóbulo rojo en solución isotónica



(b) Glóbulo rojo en solución hipertónica



(c) Glóbulo rojo en solución hipotónica

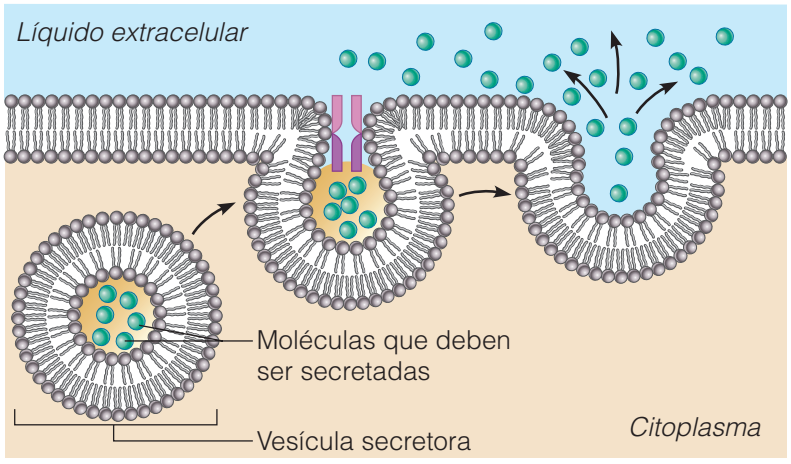
gradiente de concentración y abandona la célula (Foto b). Las soluciones hipertónicas a veces se administran a pacientes que sufren edema (hinchazón de los pies y de las manos debida a retención de líquidos). Tales soluciones toman el agua de los espacios que hay en los tejidos para verterla al torrente sanguíneo con el objeto de que los riñones puedan eliminar el exceso de líquido.

Cuando una solución contiene menos solutos (y, por tanto más agua) que la célula, se dice que es *hipotónica*. Las células situadas en soluciones hipotónicas engordan rápidamente a medida que el agua entra en ellas (Foto c). El agua destilada representa el ejemplo más extremo de líquido hipotónico. Debido a que no contiene ningún soluto, el agua entra en las células hasta que finalmente explotan o se *lisan*. Las soluciones hipotónicas a veces se inyectan de manera intravenosa (lentamente y con cuidado) para volver a hidratar los tejidos de pacientes extremadamente deshidratados. En casos menos extremos, beber líquidos hipotónicos suele funcionar. (Muchos de los líquidos que solemos beber normalmente, como el té, las bebidas de cola y las deportivas, son hipotónicas).

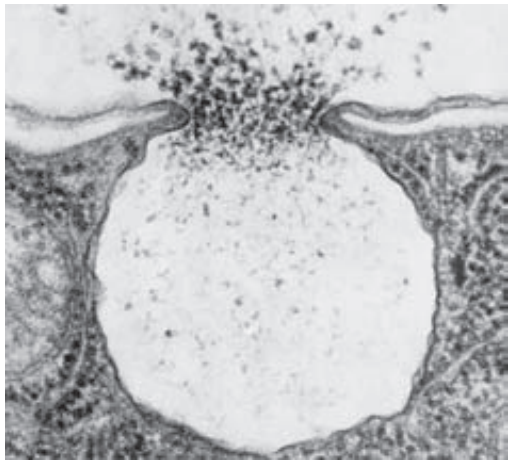
tro o hacia fuera de las células sin tener que cruzar la membrana plasmática. Los dos tipos de transporte vesicular son la *exocitosis* y la *endocitosis*.

La **exocitosis** (literalmente "fuera de la célula") saca sustancias de las células (Figura 3.12). Es el medio por el que las células secretan activamente hormonas, mucosidad y otros productos celulares o expulsan ciertos deshechos celulares. El producto que se va a liberar se "empaqueta" primero (suele ser gracias a los esfuerzos del aparato de Golgi) en una pequeña vesícula o saco membranoso. El saco emigra a la membrana plasmática y se une a ella. Entonces, la zona unida se rompe, derramando todo el contenido del saco fuera de la célula (ver también la Figura 3.6).

La **endocitosis** (literalmente "dentro de la célula") incluye aquellos procesos que requieren ATP y que absorben o engullen sustancias extracelulares metiéndolas en una pequeña vesícula membranosa (Figura

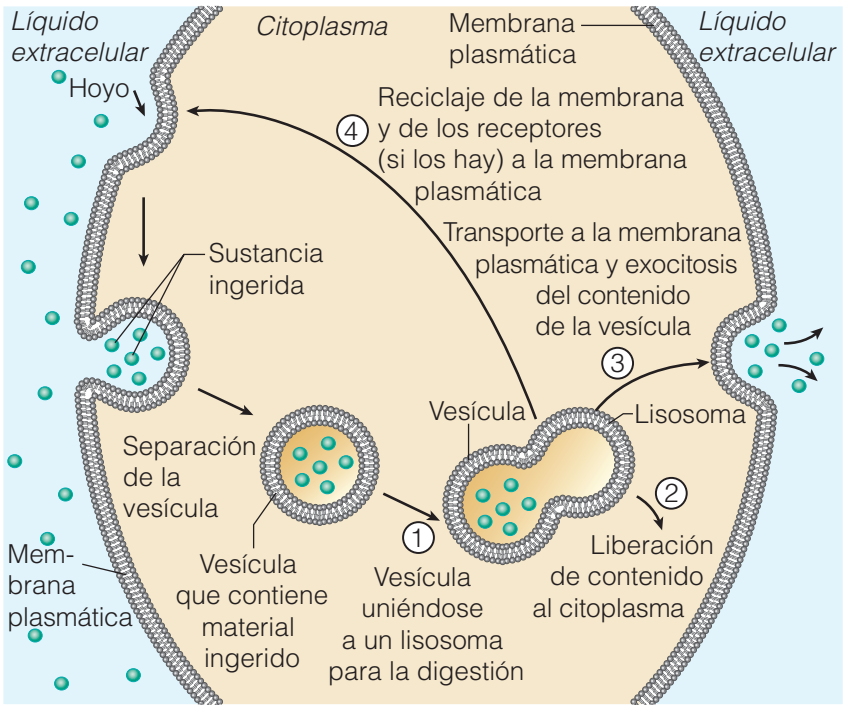


(a)

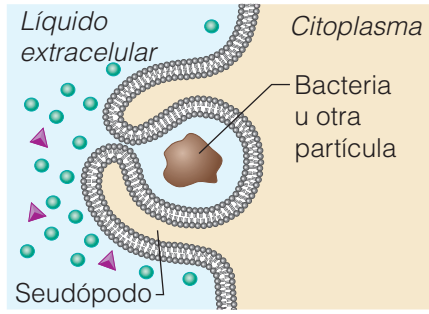


(b)

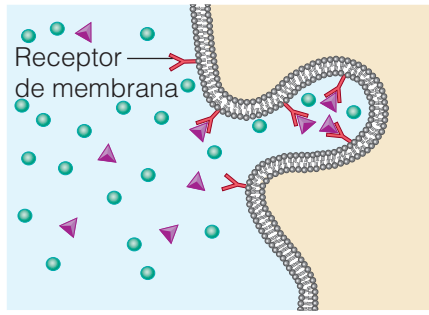
FIGURA 3.12 **Exocitosis. (a)** Una vesícula secretora migra a la membrana plasmática y las dos membranas se unen. La zona unida se abre, liberando el contenido al exterior de la célula. **(b)** Micrógrafo electrónico de una vesícula en exocitosis (60.000×).



(a)



(b)



(c)

FIGURA 3.13 **Sucesos y tipos de endocitosis. (a)** Secuencia de sucesos en la endocitosis. Una vez que la vesícula se separa de la membrana plasmática, sus contenidos pueden ser digeridos dentro de un lisosoma y, después, liberados al citoplasma (los componentes de la membrana y los receptores, si los hay, se reciclan en la membrana plasmática) o, como alternativa, la vesícula puede ser transportada a través de la célula intacta y después ser liberada al exterior de la célula mediante exocitosis. El tipo que se ilustra es pinocitosis. **(b)** Fagocitosis. **(c)** Endocitosis mediante receptores.

3.13). Una vez que se ha formado esa vesícula o saco, se separa de la membrana plasmática y se desplaza hacia el citoplasma, donde se une con un lisosoma y sus contenidos son digeridos (por enzimas lisosomales).

Si las sustancias engullidas son partículas bastante grandes como bacterias o células muertas, separadas del entorno externo por extensiones citoplasmáticas que surgen llamadas *seudópodos,* el proceso de endocitosis se denomina, más específicamente, **fagocitosis,** término que significa "comer células" (Figura 3.13b). Algunos glóbulos blancos y otros fagocitos "profesionales" del organismo actúan como células carroñeras policías que protegen el cuerpo ingiriendo bacterias y otros restos extraños. Por ello, la fagocitosis es un mecanismo de protección, no un modo de conseguir nutrientes.

Si decimos que las células pueden comer, también es posible afirmar que pueden beber. En esta forma de endocitosis, llamada **pinocitosis** ("bebida de las células"), la célula "engulle" gotitas de líquido extracelular. La membrana plasmática se invagina, o repliega, hasta que forma un hoyito y entonces rodea la minúscula gota de líquido extracelular que contiene proteínas disueltas o grasas (Figura 3.13a). A diferencia de la fagocitosis, la pinocitosis es una actividad rutinaria de la mayoría de las células. Es especialmente importante en células que trabajan en la absorción (por ejemplo, las células que forman el revestimiento del intestino delgado).

La **endocitosis mediada por receptores** es el principal mecanismo celular para la captación de moléculas objetivo específicas (Figura 3.13c). En este proceso, las proteínas receptoras de la membrana

plasmática sólo se unen a ciertas sustancias. Tanto los receptores como las altas concentraciones de moléculas objetivo adheridas se incluyen en una vesícula y, después, los contenidos de la vesícula se tratan de alguna de las maneras que se muestran en la Figura 3.13a. Aunque la fagocitosis y la pinocitosis son importantes, comparadas con la endocitosis mediada por receptores son muy poco selectivas. Entre las sustancias que sufren endocitosis mediada por receptores se encuentran las enzimas, algunas hormonas, el colesterol y el hierro. Desafortunadamente, los virus de la gripe también utilizan esta ruta para entrar y atacar nuestras células.

¿LO HAS ENTENDIDO?

15. ¿Qué es lo que determina si un proceso de transporte de membrana es activo o pasivo? ¿En qué medida están implicados los gradientes de concentración en los procesos de transporte pasivo?
16. ¿Qué proceso de transporte vesicular mueve grandes partículas en la célula?
17. ¿Qué proceso es más selectivo: la pinocitosis o la endocitosis mediada por receptores?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

División celular

El **ciclo de la vida celular** es la serie de cambios por los que pasa una célula desde el momento en que se forma hasta que se divide. El ciclo tiene dos periodos principales: la **interfase,** en la que la célula crece y sigue realizando sus actividades metabólicas normales, y la **división celular,** durante la cual se reproduce. Aunque el término *interfase* nos lleve a creer que solamente se trata de un periodo de descanso entre las fases de división celular, no es así. Durante la interfase, que es con mucho la fase más larga del ciclo celular, la célula está muy activa y *lo único* de lo que descansa es de la división. Un nombre más apropiado para la interfase sería el de *fase metabólica.*

Preparaciones: la replicación del DNA

La función de la división celular es producir más células para los procesos de crecimiento y reparación. Puesto que es esencial que todas las células del organismo tengan el mismo material genético, un acontecimiento importante *precede siempre* la división celular: el material genético (las moléculas de DNA que forman parte de la cromatina) se duplica con exactitud. Esto ocurre hacia el final del periodo de interfase.

Recordarás del Capítulo 2 que el DNA es una molécula muy compleja. Está compuesta por unos componentes básicos llamados *nucleótidos.* Cada uno de ellos consiste en azúcar desoxirribosa, un grupo fosfato y una base que contiene nitrógeno. En esencia, el DNA es una *hélice doble,* una molécula parecida a una escalera que se enrolla hasta conseguir la forma de una escalera de caracol. Las partes superiores de la "escalera" de DNA son unidades alternas de fosfato y azúcar, y los peldaños de la escalera están hechos de pares de bases nitrogenadas.

Se desconoce el desencadenante preciso de la síntesis de DNA, pero se sabe que, una vez que comienza, continúa hasta que todo el DNA se haya replicado. El proceso empieza cuando se desenrolla la hélice de DNA y gradualmente se separa en sus dos cadenas de nucleótidos (Figura 3.14). Entonces, cada cadena de nucleótido sirve como *plantilla,* o grupo de instrucciones, para construir una nueva cadena de nucleótido.

Recuerda que los nucleótidos se unen de manera *complementaria:* la adenina (A) siempre se une a la timina (T), y la guanina (G) siempre se une a la citosina (C). Por ello, el orden de los nucleótidos en la cadena que hace de plantilla también determina el orden de la nueva cadena. Por ejemplo, una secuencia TACTGC en la cadena plantilla se unirá a nuevos nucleótidos que tengan el orden ATGACG. El resultado final es que se forman dos moléculas de DNA idénticas a la hélice original de DNA, cada una compuesta de una cadena de nucleótidos vieja y otra nueva.

¿Qué ocurre durante la división celular?

En todas las células distintas de las bacterias y de algunas células del sistema reproductivo, la división celular está conformada por dos acontecimientos importantes. La **mitosis,** o división del núcleo, es lo primero que tiene lugar. Después ocurre la división del citoplasma, la **citocinesis,** que comienza cuando la mitosis está casi terminada.

Mitosis La mitosis da como resultado la formación de dos núcleos hijos con los mismos genes que alberga el núcleo padre. Como se ha explicado con anterioridad, la replicación del DNA precede a la mitosis, de tal manera que durante un corto espacio de tiempo el núcleo de la célula contiene doble número de genes. Cuando el núcleo se divide, cada *célula hija* acaba teniendo *exactamente* la misma información genética que la célula madre original y que el óvulo fertilizado del que procede.

Las fases de la mitosis, que aparecen en el diagrama de la Figura 3.15, son:

- **Profase.** Cuando empieza la división celular, las fibras de cromatina se enrollan y se acortan, de modo que aparecen unos cuerpos llamados **cromosomas**

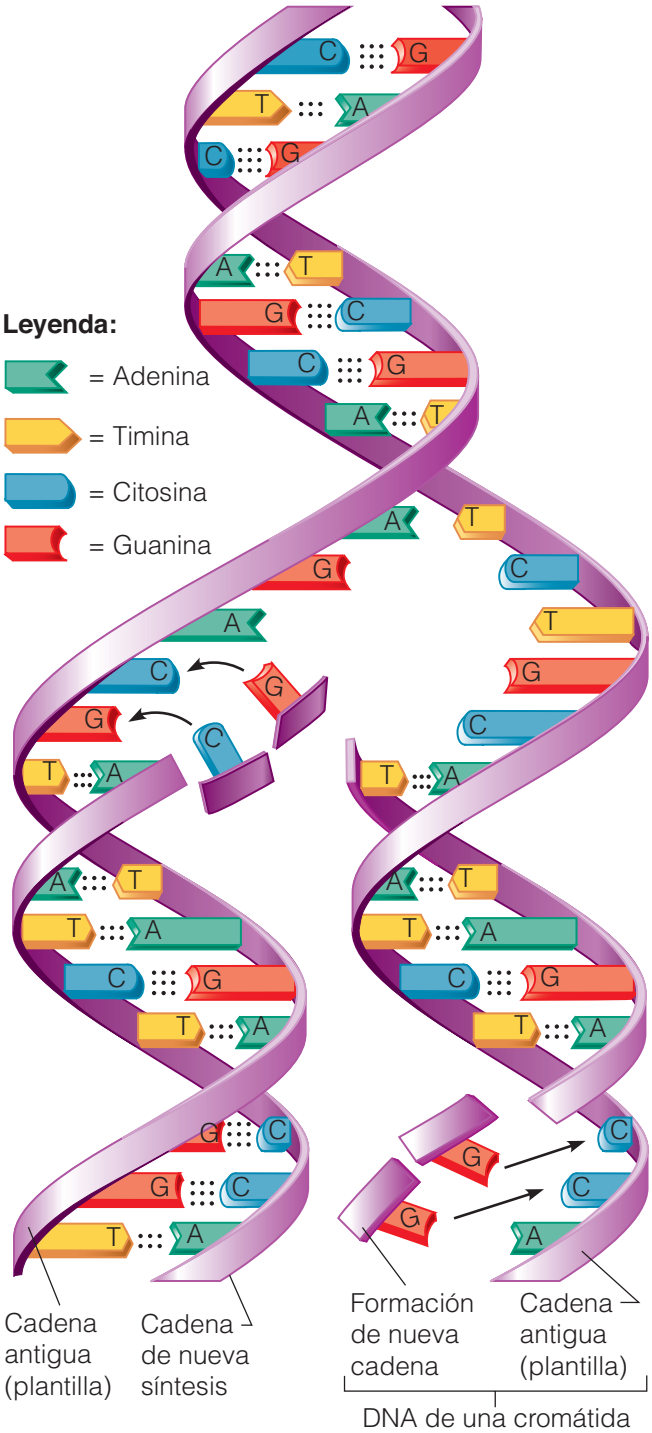


FIGURA 3.14 Replicación de la molécula de DNA durante la interfase. La hélice de DNA se desenrolla (centro) y las cadenas de sus nucleótidos se separan. Entonces, cada cadena actúa como plantilla en la construcción de una nueva cadena complementaria. Como resultado, se forman dos hélices, cada una idéntica a la hélice original de DNA.

(*cromo* = de colores; *soma* = cuerpo), con aspecto de códigos de barras. Como el DNA ya se ha replicado, cada cromosoma está formado por dos fibras, cada una llamada **cromátida,** unidas por un pequeño cuerpo con aspecto de botón llamado **centrómero.** Los centriolos se separan entre sí y empiezan a moverse hacia extremos opuestos de la célula, haciendo que se forme un **huso mitótico** (compuesto por microtúbulos) entre ellos a medida que se mueven. El huso proporciona un andamio para el acoplamiento y movimiento de los cromosomas durante las fases mitóticas posteriores. Al final de la profase, la cubierta nuclear y los nucleolos han desaparecido y los cromosomas se han acoplado aleatoriamente a las fibras del huso por sus centrómeros.

- **Metafase** En esta breve fase, los cromosomas se agrupan y se alinean en la *placa metafásica* (en el cuerpo medio del huso, a medio camino entre los centriolos) de modo que se puede ver una línea recta de cromosomas.
- **Anafase** Durante la anafase se rompen los centrómeros que han mantenido juntas a las cromátidas. Éstas (ahora denominadas cromosomas otra vez) empiezan a moverse lentamente, atraídas hacia los extremos opuestos de la célula. Los cromosomas parecen estar tirados por sus medio-centrómeros, con sus "brazos" colgando por detrás. Se considera terminada la anafase cuando finaliza el movimiento de los cromosomas.
- **Telofase** La telofase es, en esencia, la profase al revés. Los cromosomas, en los extremos opuestos de la célula, se desenrollan para volverse de nuevo fibras de cromatina. El huso se rompe y desaparece, se forma una envoltura nuclear alrededor de cada masa de cromatina y aparecen nucleolos en cada uno de los núcleos hijos.

La mitosis es básicamente igual en todas las células animales. Dependiendo del tipo de tejido, lleva de 5 minutos a varias horas el completarla, pero como media suele durar unas 2 horas. La replicación del centriolo se pospone hasta la interfase tardía del siguiente ciclo celular, cuando la replicación del DNA empieza antes del comienzo de la mitosis.

Citocinesis La citocinesis, o división del citoplasma, suele empezar durante la anafase tardía y se completa durante la telofase. Un anillo contráctil hecho a base de filamentos forma un **surco de segmentación** en el cuerpo medio del huso y, finalmente, mediante un proceso llamado abscisión, la masa citoplasmática sufre una estrangulación que la divide en dos partes. Así, al final de la división celular se han formado dos células hijas. Cada una es más pequeña y tiene menos citoplasma que la célula madre, pero es genéticamente

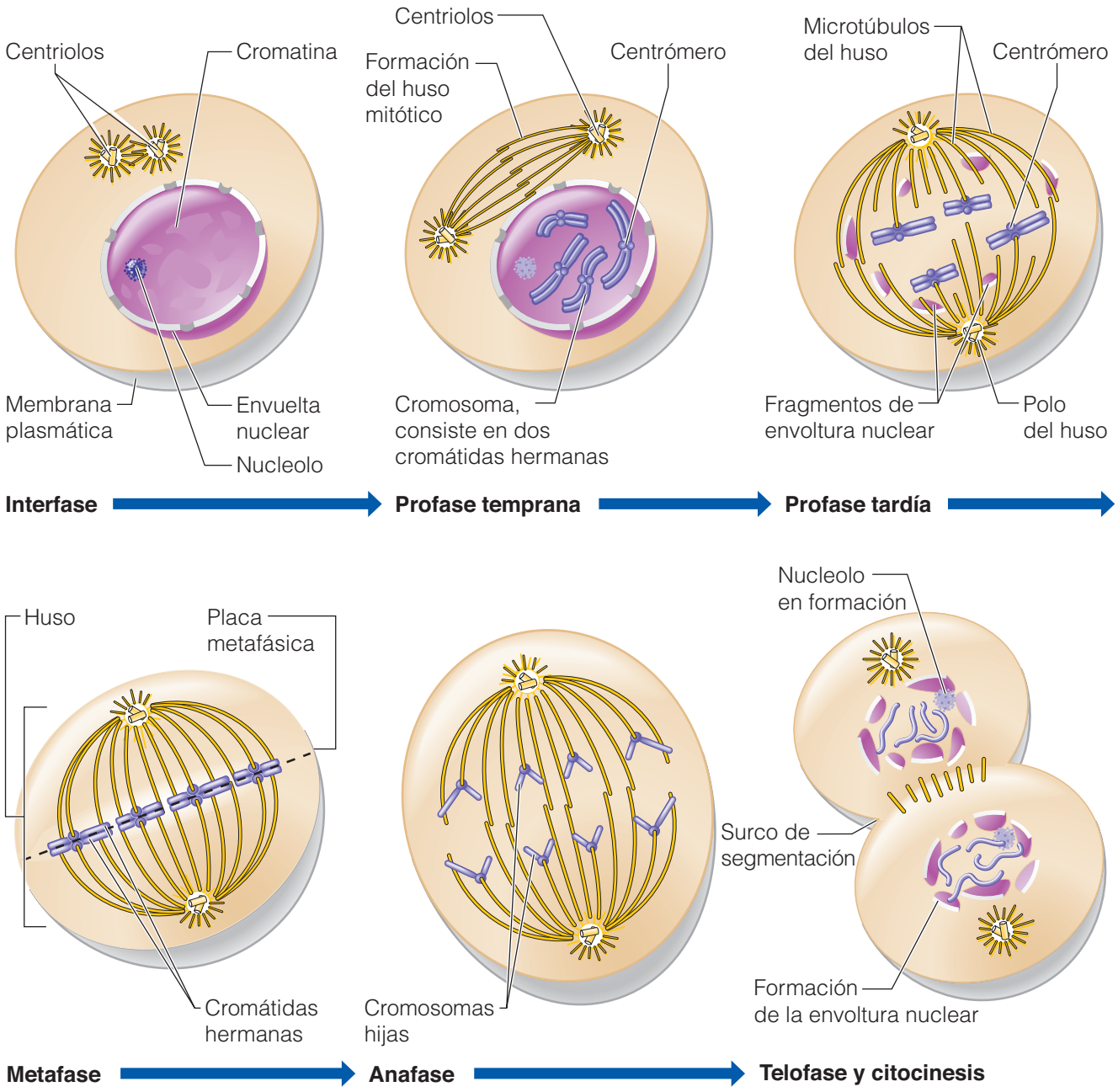


FIGURA 3.15 **Fases de la mitosis.**

idéntica a ella. Las células hijas crecen y realizan actividades normales hasta que les toca dividirse a su vez.

La mitosis y la división del citoplasma suelen ir de la mano, pero en algunos casos el citoplasma no se divide. Esta anomalía ocasiona la formación de células *binucleadas* (con dos núcleos) o *multinucleadas*. Esto se produce con bastante frecuencia en el hígado.

Como hemos mencionado con anterioridad, la mitosis proporciona las "nuevas" células necesarias para el crecimiento del cuerpo en la juventud y es necesaria para reparar los tejidos del organismo durante toda la vida.

Cuando la mitosis se descontrola, aparecen los tumores y los cánceres.

Síntesis de proteínas

Genes: el diseño de la estructura de las proteínas

Además de replicarse para la división celular, el DNA sirve de diseño maestro para las síntesis de proteínas. Tradicionalmente, un **gen** se define como un segmento de DNA que lleva la información para la construcción de una proteína o cadena de polipéptidos.

Las proteínas son sustancias clave para todos los aspectos de la vida celular. Como se describió en el Capítulo 2, las *proteínas fibrosas (estructurales)* son los materiales de construcción más importantes para las células. Otras proteínas, las *proteínas globulares (funcionales),* realizan otras labores aparte de construir estructuras. Por ejemplo, todas las **enzimas,** catalizadores biológicos que regulan las reacciones químicas que tienen lugar dentro de las células, son proteínas funcionales. La importancia de las enzimas no puede ser sobrevalorada. Cada reacción química que tiene lugar en el cuerpo necesita de una enzima. El DNA regula la actividad celular en gran medida especificando la estructura de las enzimas que, a su vez, controlan o dirigen las reacciones químicas en las que los hidratos de carbono, las grasas, otras proteínas e incluso el mismo DNA se crean y se destruyen.

¿Cómo logra el DNA llevar a cabo esta increíble? La información del DNA está codificada en la secuencia de bases a cada lado de la escalera que forman las moléculas de DNA. Cada secuencia de tres bases (un *triplete*) necesita un *aminoácido* particular (Figura 3.16). (Los aminoácidos son los componentes básicos de las proteínas que se unen durante la síntesis de proteínas). Por ejemplo, una secuencia de bases de DNA que sea AAA especifica un aminoácido llamado fenilalanina, mientras que si es CCT requerirá glicina. Igual que la disposición diferente de notas en un pentagrama produce distintas melodías al tocarlas, las variaciones en la disposición de A, C, T y G en cada gen permite a las células fabricar todos los tipos de proteínas necesarias. Se ha estimado que un solo gen tiene entre 300 y 3.000 pares de bases en secuencia.

El papel del RNA

Por sí mismo, el DNA se parecería a una tira de cinta magnética; su información no es útil hasta que se descodifica. Además, la mayoría de los ribosomas (la parte de la célula donde se fabrican las proteínas) están en el citoplasma, pero en las células que se encuentran en la interfase el DNA no abandona el núcleo. Así, el DNA no sólo requiere un descodificador, sino también un mensajero para lograr su tarea de especificar la estructura de proteínas que debe ser construida en los ribosomas. Estas funciones de mensajería y descodificación se realizan gracias a un segundo tipo de ácido nucleico, llamado **ácido ribonucleico** o **RNA**.

Como has aprendido en el Capítulo 2, el RNA se diferencia del DNA en que tiene una sola cadena y en que tiene azúcar ribosa en vez de desoxirribosa y una base de uracilo (U) en vez de la de timina (T). Hay tres variedades de RNA que juegan un papel especial en la síntesis de proteínas. Las **moléculas de RNA de transferencia (tRNA)** son pequeñas moléculas con forma de hoja de trébol. El **RNA ribosomal** o **ribosómico (rRNA)** ayuda a formar los ribosomas, donde se construyen las proteínas. Las **moléculas de RNA mensajero (mRNA)** son largas y únicas cadenas de nucleótido que recuerdan a la mitad de una molécula de DNA y que llevan el "mensaje" que contiene las instrucciones para la síntesis de proteínas desde el gen de DNA en el núcleo hasta los ribosomas en el citoplasma.

La síntesis de proteínas consta de dos fases principales: la *transcripción,* cuando se fabrica mRNA en el gen del DNA, y la *traducción,* cuando la información que llevan las moléculas de mRNA es "descodificada" y utilizada para unir proteínas. Estos pasos se resumen de una manera sencilla en la Figura 3.16 y se describen después con mayor detalle.

La transcripción

La palabra *transcripción* a menudo se refiere a una de las tareas que realiza una secretaria, convirtiendo notas que tienen una forma determinada (si están tomadas a mano o mediante una grabación de audio) en notas que tienen otra forma (por ejemplo, una carta escrita en el ordenador). Es decir, la misma información se transforma de una forma o formato a otro. En las células, la **transcripción** implica la transferencia de información desde la secuencia de bases del DNA hasta la secuencia de bases *complementaria* del mRNA (Figura 3.16, paso 1). Sólo el DNA y el mRNA están implicados en la transcripción. Mientras que cada secuencia de tres bases que especifica un aminoácido particular en el gen de DNA recibe el nombre de **triplete,** las secuencias correspondientes de tres bases en el mRNA se llaman **codones.** La forma es diferente, pero se transporta la misma información. Así, si la secuencia (parcial) de los tripletes de DNA es AAT-CGT-TCG, los codones correspondientes en el mRNA serían UUA-GCA-AGC.

La traducción

Un traductor toma las palabras en un idioma y las reformula en otro idioma. En la **fase de traducción** de la síntesis de proteínas, el idioma de los ácidos nucleicos (secuencia de bases) se "traduce" al idioma de las proteínas (secuencia de aminoácidos). La traducción

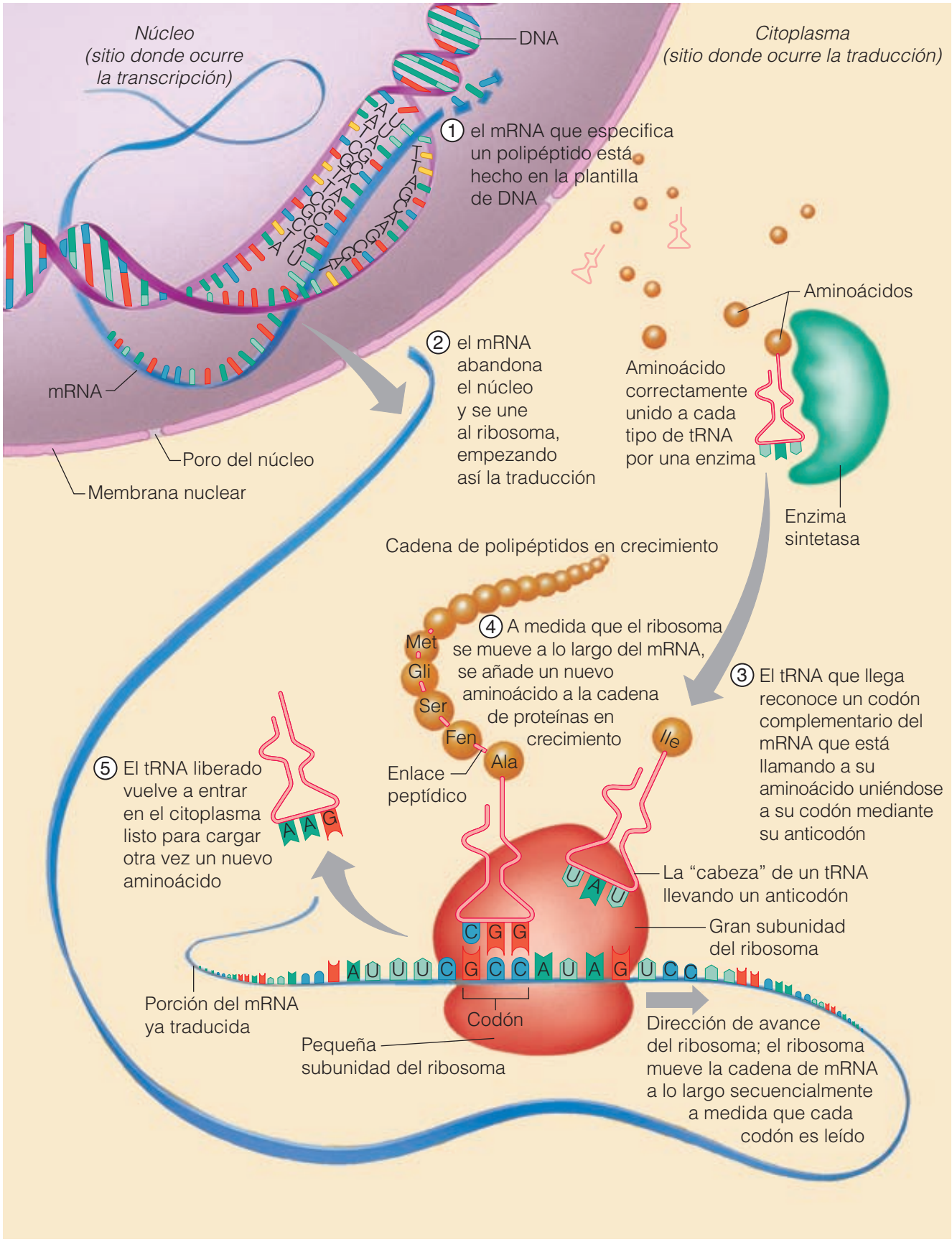


FIGURA 3.16 **Síntesis de proteínas.** (①) Transcripción. (②–⑤) Traducción.

tiene lugar en el citoplasma e implica tres variedades principales de RNA. Como ilustra la Figura 3.16, en los pasos 2 al 5, la traducción consiste en los hechos siguientes: una vez que el mRNA se une al ribosoma (paso 2), el tRNA actúa. Su trabajo es transferir aminoácidos al ribosoma, donde las enzimas se encargan de unirlos en la secuencia exacta especificada por el gen (y su mRNA). Hay unos 45 tipos comunes de tRNA, cada uno capaz de transportar uno de los 20 tipos comunes de aminoácidos a los lugares donde se produce la síntesis de proteínas. Pero éste no es el único trabajo de los pequeños tRNAs. También tienen que reconocer los codones de mRNA "llamando" a los aminoácidos que portan. Pueden hacer esto porque tienen una secuencia especial de tres bases llamada **anticodón** en su "cabeza" que puede unirse a los codones complementarios (paso 3).

Una vez que el primer tRNA se ha situado en la posición adecuada al principio del mensaje del mRNA, el ribosoma mueve la cadena de mRNA a lo largo, colocando al siguiente codón en posición para que pueda ser leído por otro tRNA. A medida que se van colocando los aminoácidos en sus posiciones adecuadas a lo largo del mRNA, se van uniendo gracias a las enzimas (paso 4). Cuando un aminoácido se une a la cadena, su tRNA es liberado y se aleja del ribosoma para recoger otro aminoácido (paso 5). Cuando es leído el último codón (el codón de terminación), se libera la proteína.

¿LO HAS ENTENDIDO?

18. ¿Cómo se relacionan los términos *cadena plantilla* y *complementaria* con la síntesis de DNA?
19. ¿Qué ocurre si la citocinesis no tiene lugar?
20. ¿Cuál es el papel del mARN en la síntesis de proteínas?
21. ¿Cuáles son las dos fases de la síntesis de proteínas y en qué fase se sintetizan las proteínas realmente?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE II: TEJIDOS DEL CUERPO

El cuerpo humano, complejo como es, comienza como una sola célula, el óvulo fertilizado, que se divide casi sin parar. Los millones de células resultantes se especializan para funciones concretas. Algunas se convierten en células musculares, otras en la lente transparente del ojo, otras en células de la piel, etc. Así, hay una división del trabajo en el cuerpo, con ciertos grupos de células altamente especializadas realizando funciones que benefician a la totalidad del organismo.

La especialización celular conlleva ciertos riesgos. Cuando un grupo pequeño de células es indispensable, su pérdida puede discapacitar o incluso destruir el cuerpo. Por ejemplo, la acción del corazón depende de un grupo de células muy especializadas sitas, en el músculo cardiaco que controlan sus contracciones. Si esas células concretas están dañadas o dejan de funcionar, el corazón ya no seguirá trabajando con eficiencia y todo el organismo sufrirá o incluso morirá por falta de oxígeno.

Los grupos de células que tienen estructura y funciones parecidas se denominan **tejidos.** Los cuatro tipos de tejido primario (epitelio, tejido conectivo, tejido nervioso y muscular) interactúan para formar la materia del organismo. Si hubiera que asignar un solo término para cada tipo de tejido primario que describiera su papel, muy probablemente los términos serían *cobertura* (epitelio), *soporte* (conectivo), *movimiento* (músculo) y *control* (nervioso). Sin embargo, estos términos sólo reflejan una pequeña fracción de las funciones que cada uno de estos tejidos realiza.

Como se explica en el Capítulo 1, los tejidos están organizados en *órganos* como el corazón, los riñones y los pulmones. La mayoría de los órganos contienen varios tipos de tejido y la disposición de éstos determina la estructura de cada órgano y sus capacidades. Así, un estudio de los tejidos sería de utilidad en el estudio posterior de los órganos del cuerpo y de su funcionamiento.

De momento, queremos familiarizarnos con las principales similitudes y diferencias entre los tejidos primarios. Como no se va a tratar más el epitelio y otros tipos de tejido conectivo, se hará más hincapié en ellos en esta sección con respecto a los tejidos muscular, nervioso y óseo (que es un tejido conectivo), tratados en mayor profundidad en capítulos posteriores.

Tejido epitelial

El **tejido epitelial,** o **epitelio** (*epite* = cobertura) es el *tejido de recubrimiento* y *glandular* del cuerpo. El epitelio glandular forma varias glándulas en el organismo. El epitelio de recubrimiento cubre todas las superficies libres del cuerpo y contiene células versátiles. Un tipo forma la capa exterior de la piel. Otros se adentran en el organismo para recubrir sus cavidades. Como el epitelio forma los límites que nos separan del mundo exterior, casi todas las sustancias que deshecha o recibe el cuerpo deben pasar por él.

Entre las funciones del epitelio se encuentran la *protección, absorción, filtración* y *secreción*. Por ejemplo, el epitelio de la piel protege frente a las agresiones químicas y de las bacterias, y el epitelio que recubre el tracto respiratorio tiene cilios, que impiden la entrada de polvo y de otras partículas a los pulmones. El epitelio especializado en la absorción de sustancias recubre algunos órganos del aparato digestivo como el estómago y el intestino delgado, que absorben los nutrientes de los alimentos para el organismo. En los riñones el epitelio tanto absorbe como filtra. La especialidad de las glándulas es la secreción, produciendo sustancias como sudor, aceites, enzimas digestivas y mucosas.

Características especiales del epitelio

En general, el epitelio posee las características que se detallan a continuación:

- Excepto para el epitelio glandular (que se describe en la página 93), las células del tejido epitelial se sitúan muy juntas para formar láminas continuas. Las células adyacentes se unen entre sí en varios puntos mediante uniones celulares especializadas, incluyendo los desmosomas y las uniones fuertes (véase la pág. 69).
- Las membranas siempre tienen un borde o superficie libre (sin unir) que se llama **superficie apical** y está expuesta al exterior del cuerpo o a la cavidad de un órgano interno. Las superficies expuestas de muchos epitelios son lisas y suaves, pero otras muestran modificaciones de la superficie celular como microvellosidades o cilios.
- La parte inferior del tejido epitelial reposa sobre una **membrana basal,** un material sin estructura segregado tanto por las células epiteliales como por las del tejido conectivo contiguo al epitelio.
- Los tejidos epiteliales no tienen suministro propio de sangre (es decir, son *avasculares*) y dependen de la difusión desde los capilares del tejido conectivo subyacente para abastecerse de nutrientes y oxígeno.
- Si están bien nutridas, las células del tejido epitelial se regeneran con facilidad.

Clasificación del tejido epitelial

A cada epitelio se le adjudican dos nombres: el primero indica el número relativo de capas celulares de que dispone (Figura 3.17a). Las clasificaciones por la disposición de las células (capas) son **epitelio simple** (una capa de células) y **epitelio estratificado** (más

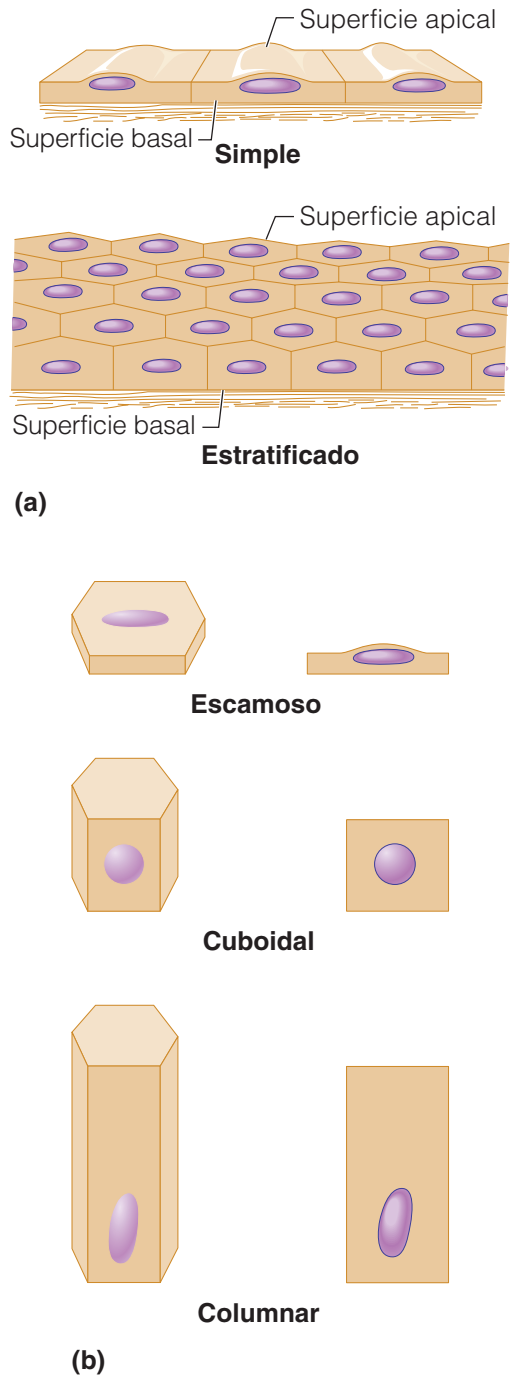


FIGURA 3.17 Clasificación del tejido epitelial.
(a) Clasificación según la disposición celular (capas).
(b) Clasificación según la forma de las células.
Para cada categoría se muestra una célula completa a la izquierda y una sección longitudinal a la derecha.

de una capa de células). El segundo nombre describe la forma de sus células (figura 3.17b).
Hay *células escamosas,* aplanadas como las escamas de los peces, *células cuboidales,* que tienen forma de cubo o de dado, y *células columnares,* con forma de columna. Los términos que describen la forma y disposición se combinan para describir completamente al epitelio. Los epitelios estratificados se nombran por las células en la *superficie libre* de la membrana epitelial, no por las que descansan sobre la membrana basal.

Epitelio simple

Los epitelios simples principalmente se encargan de la absorción, la secreción y la filtración. Ya que los epitelios simples son normalmente muy delgados, la protección no es su punto fuerte.

Epitelio simple escamoso El **epitelio simple escamoso** es una capa única de células escamosas delgadas que reposan sobre una membrana basal. Las células están estrechamente unidas entre sí, como muchos suelos de baldosas. Este tipo de tejido epitelial normalmente forma membranas donde se produce la filtración o intercambio de sustancias por difusión rápida. El epitelio simple escamoso se encuentra en los sacos aéreos de los pulmones, donde se produce el intercambio del oxígeno y el dióxido de carbono (Figura 3.18a), y también forma las paredes de los capilares, donde los nutrientes y los gases pasan entre las células de los tejidos y la sangre de los capilares. El epitelio simple escamoso forma también las **membranas serosas,** las membranas lisas que recubren la cavidad ventral del organismo y cubren los órganos de esa cavidad. Las membranas serosas se describen con más detalle en el Capítulo 4.

Epitelio simple cuboidal El **epitelio simple cuboidal,** que es una capa de células cuboidales que reposa sobre una membrana basal, aparece con frecuencia en las glándulas y en sus conductos (por ejemplo, en las glándulas salivares y el páncreas). Forma también las paredes de los túbulos del riñón y recubre la superficie de los ovarios (Figura 3.18b).

Epitelio simple columnar El **epitelio simple columnar** está formado por una capa única de células altas que se ajustan muy bien entre sí. Las **células de cubilete,** que producen mucosidades lubricantes, se encuentran con frecuencia en este tipo de epitelio. Toda la longitud del tracto digestivo desde el estómago hasta el ano tiene un recubrimiento de epitelio simple columnar (Figura 3.18c). Las membranas epiteliales que recubren las cavidades del organismo abiertas al exterior se llaman **mucosas** o **membranas mucosas.**

Epitelio pseudoestratificado columnar Todas las células del **epitelio pseudoestratificado columnar** se sitúan sobre una membrana basal. Sin embargo, algunas de sus células son más cortas que otras y sus núcleos aparecen a distinta altura por encima de la membrana basal. Como resultado, este epitelio da la falsa *(pseudo)* impresión de que está estratificado, y de ahí su nombre. Al igual que el epitelio simple columnar, esta variedad sirve sobre todo para realizar funciones de absorción y secreción. Una variedad ciliada (denominada con más precisión *epitelio pseudoestratificado columnar ciliado*) recubre la mayor parte del tracto respiratorio (Figura 3.18d). La mucosidad producida por las células de cubilete en este epitelio atrapa el polvo y otras partículas, y los cilios empujan la mucosidad hacia arriba y la alejan de los pulmones.

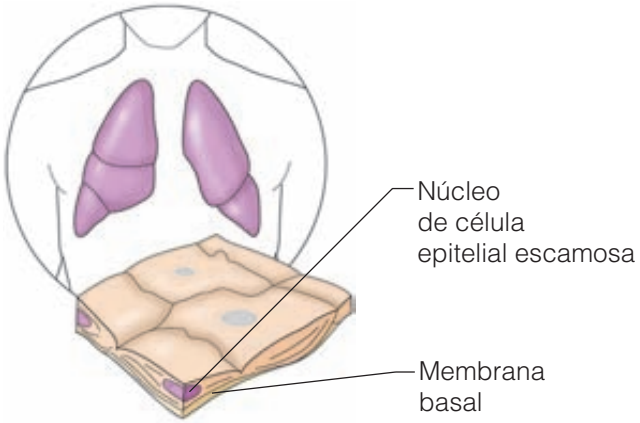
Epitelio estratificado

El epitelio estratificado consiste en dos o más capas celulares. Con una duración considerablemente mayor que los epitelios simples, éstos sirven principalmente para proteger.

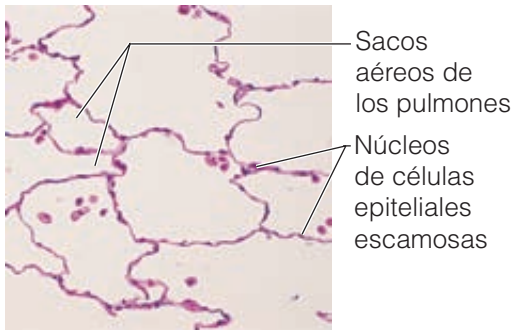
Epitelio estratificado escamoso El **epitelio estratificado escamoso** es el tejido epitelial más común del organismo. Normalmente consiste en varias capas de células. Aquellas que están en el borde libre son células escamosas, mientras que las que se hallan próximas a la membrana basal son cuboidales o columnares. El epitelio estratificado escamoso se encuentra en lugares que reciben bastante fricción o maltrato, como el esófago, la boca y la parte exterior de la piel (Figura 3.18e).

Epitelio estratificado cuboidal y columnar El **epitelio estratificado cuboidal** tiene normalmente sólo dos capas celulares con (al menos) las células de la superficie con forma cuboidal. Las células superficiales del **epitelio estratificado columnar** son células columnares, pero sus células basales varían en tamaño y forma. Estos dos últimos tipos de epitelio son bastante infrecuentes en el organismo y aparecen sobre todo en los conductos de las grandes glándulas. (Dado que la distribución de estos dos epitelios es extremadamente limitada no están ilustrados en la Figura 3.18. Se describen aquí sólo para proporcionar un listado completo de los tejidos epiteliales.)

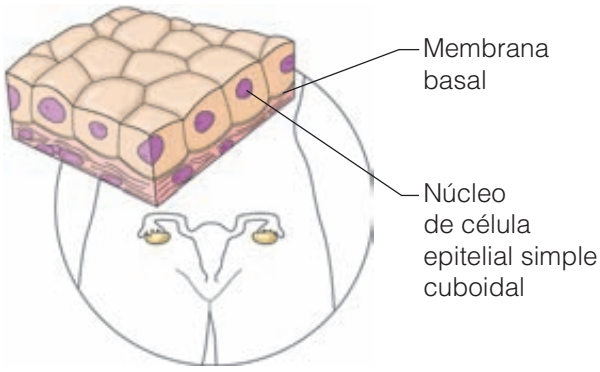
Epitelio transicional El **epitelio transicional** es un epitelio estratificado escamoso muy modificado que forma el recubrimiento de sólo unos pocos órganos, la vejiga de la orina, los uréteres y parte de la uretra. *Todos* estos órganos forman parte del sistema urinario y están sometidos a alargamientos considerables (Figura 3.18f). Las células de la capa basal tienen forma



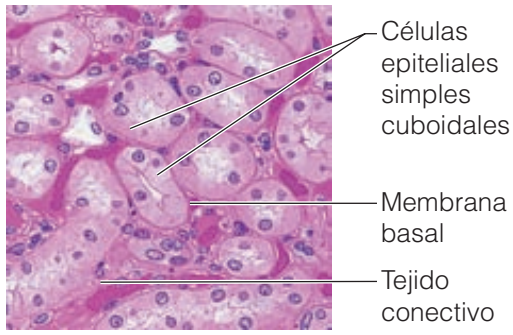
(a) Diagrama: simple escamoso



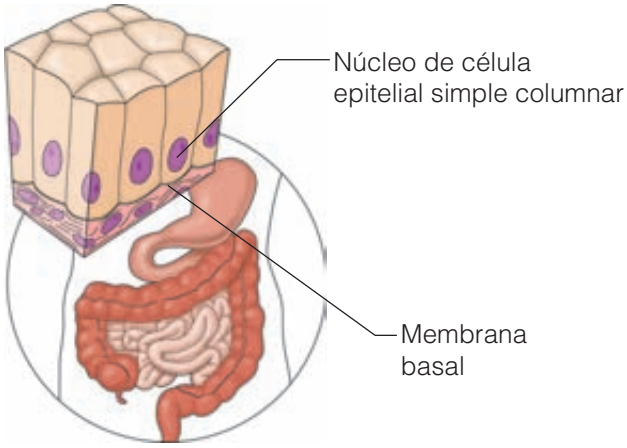
Microfotografía: epitelio simple escamoso que forma parte de las paredes alveolares (sacos aéreos) (100x).



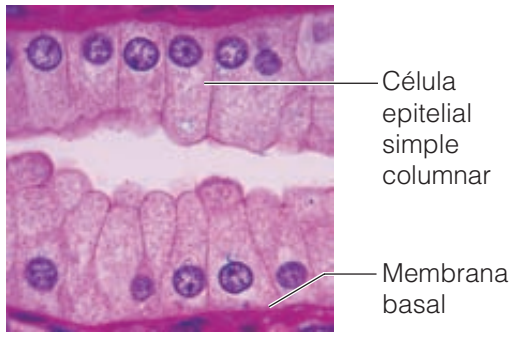
(b) Diagrama: simple cuboidal



Microfotografía: epitelio simple cuboidal en los túbulos de los riñones (400x).

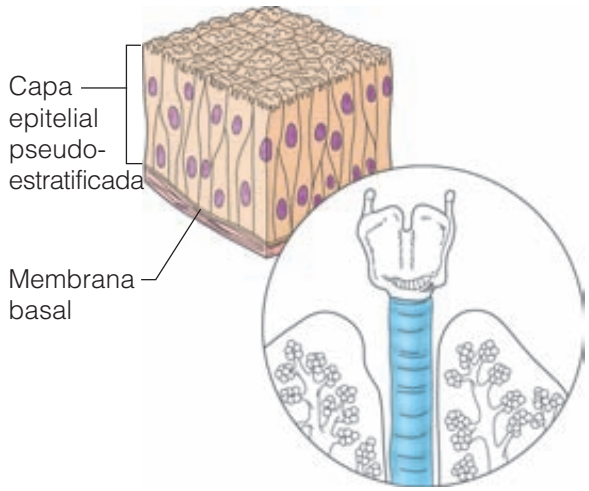


(c) Diagrama: simple columnar

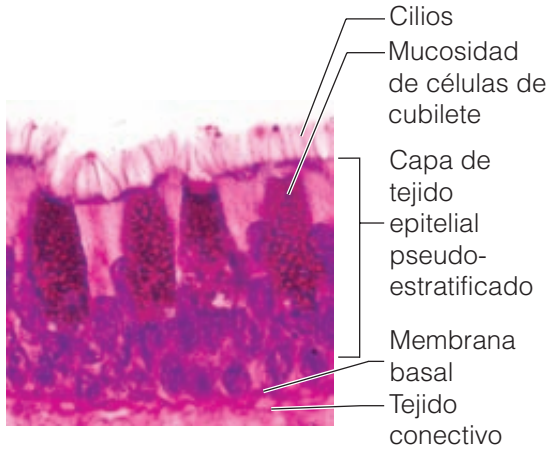


Microfotografía: epitelio simple columnar en el recubrimiento del estómago (900x).

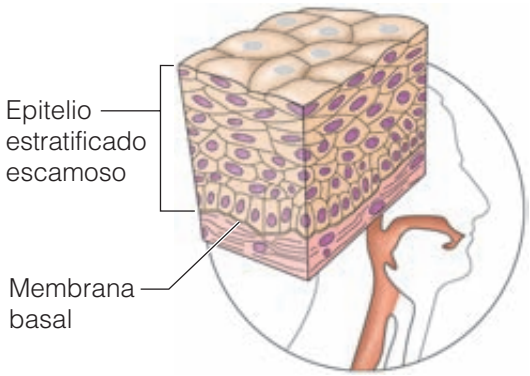
FIGURA 3.18 Tipos de epitelios y sus localizaciones habituales en el organismo. *(Continúa en la página 92.)*



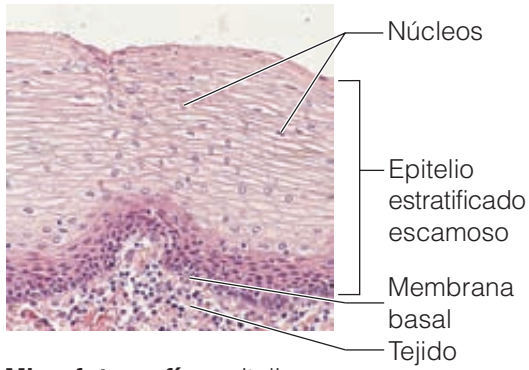
(d) Diagrama: pseudoestratificado columnar (ciliado)



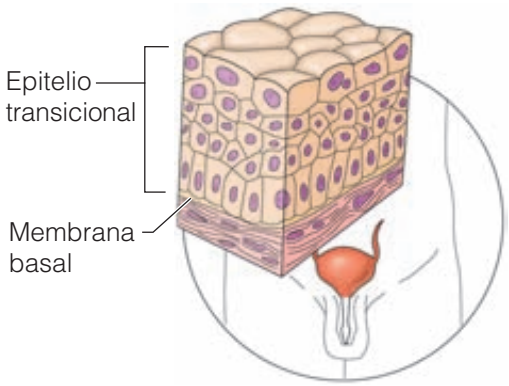
Microfotografía: epitelio pseudoestratificado columnar ciliado que recubre la tráquea humana (700x).



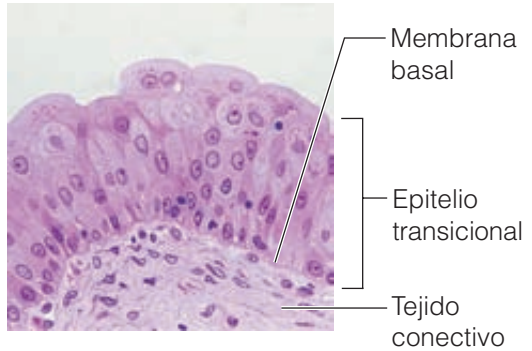
(e) Diagrama: estratificado escamoso



Microfotografía: epitelio estratificado escamoso del recubrimiento del esófago (200x).



(f) Diagrama: transicional



Microfotografía: epitelio transicional del recubrimiento de la vejiga, en estado relajado (300x). Destaca el aspecto redondeado de las células de la superficie; estas células se aplastan y se alargan cuando la vejiga se llena de orina.

FIGURA 3.18 ***(continuación)*** **Tipos de epitelios y sus localizaciones habituales en el organismo.**

cuboidal o columnar y las que están en la superficie libre tienen aspecto variable. Cuando el órgano no se halla sometido a alargamiento la membrana tiene varias capas y las células superficiales tienen formas redondeadas y de cúpula. Cuando el órgano está tenso por la acción de la orina, el epitelio reduce su espesor y las células superficiales se aplanan y adoptan formas parecidas a las escamas. Esta capacidad de las células transicionales de deslizarse unas debajo de las otras y de cambiar su forma (de sufrir "transiciones") permite que la pared del uréter se estire conforme fluya más cantidad de orina a través de ese órgano en forma de tubo. En la vejiga permite que se almacene una mayor cantidad de orina.

Epitelio glandular

Una **glándula** consiste en una o más células que fabrican y secretan un producto concreto. Este producto, denominado **secreción,** contiene normalmente moléculas de proteínas en un fluido acuoso (basado en el agua). El término *secreción* también indica un *proceso* activo en el que las células glandulares obtienen de la sangre los materiales que necesitan y los utilizan para fabricar su secreción, que pueden liberar a continuación.

Se desarrollan dos tipos principales de glándulas a partir de las capas epiteliales. Las **glándulas endocrinas** pierden su conexión con la superficie (conducto), por lo que a veces se les llama glándulas *sin conducto*. Sus secreciones (todas hormonas) se difunden directamente a los vasos sanguíneos que se abren camino a través de las glándulas. Entre los ejemplos de glándulas endocrinas están la tiroides, las adrenales y la pituitaria.

Las **glándulas exocrinas** mantienen sus conductos y sus secreciones se evacuan mediante los conductos a la superficie epitelial. Las glándulas exocrinas, que incluyen las glándulas sudoríparas y sebáceas, el hígado y el páncreas, son tanto internas como externas. Se tratan en los sistemas de órganos con los que se relacionan sus productos.

Tejido conectivo

El **tejido conectivo**, como sugiere su nombre, conecta entre sí las distintas partes del cuerpo. Se encuentra en cualquier parte del organismo. Es el tipo de tejido más abundante y ampliamente distribuido. Los tejidos conectivos realizan muchas funciones, pero sus misiones principales son *proteger, hacer de soporte* y *unir entre sí* otros tejidos corporales.

Características comunes del tejido conectivo

Entre las características del tejido conectivo se incluyen las siguientes:

- **Variaciones en el riego sanguíneo.** La mayor parte de los tejidos conectivos están bien *vascularizados* (es decir, tienen un buen suministro sanguíneo), pero hay excepciones. Los tendones y los ligamentos tienen un riego sanguíneo pobre, y los cartílagos son avasculares. En consecuencia, todas estas estructuras se curan muy lentamente cuando sufren daños. (Por este motivo mucha gente dice que preferiría romperse un hueso antes que un ligamento).
- **Matriz extracelular.** Los tejidos conectivos están formados por tipos muy diferentes de células y cantidades variables de una sustancia no viva que se encuentra en el exterior de las células llamada matriz extracelular.

Matriz extracelular

La **matriz extracelular** merece una explicación más extensa debido a que es la que permite que el tejido conectivo sea muy diferente del resto de los tipos de tejidos. La matriz, que se forma a partir de las células del tejido conectivo y posteriormente es secretada hacia su exterior, tiene dos elementos principales: una sustancia de base sin estructura y fibras. La *sustancia de base* de la matriz está compuesta fundamentalmente por agua más algunas proteínas adherentes y grandes moléculas cargadas de polisacáridos. Las proteínas de adhesión celular sirven como cola que permite que las células del tejido conectivo se adhieran a las fibras de la matriz que aparecen en el seno de la sustancia de base. Las moléculas cargadas de polisacáridos atrapan agua según se van entrelazando. Conforme la relativa abundancia de estos polisacáridos se incrementa, hacen que la matriz pase de ser líquida a tener la consistencia de un gel, llegando a poder tener una consistencia firme como una roca. La capacidad de la sustancia de base para absorber grandes cantidades de agua le permite funcionar como una reserva de agua para el organismo.

En la matriz se depositan varios tipos y cantidades de fibras que forman parte de ella. Se incluyen entre éstas las fibras de colágeno (blancas), que se distinguen por su gran capacidad de tensión y resistencia, las fibras elásticas (amarillas) (cuya principal característica es su capacidad de estirarse y volver a su posición después) y las fibras reticulares (fibras finas de colágeno que forman el "esqueleto" interno de los órganos blandos como el bazo), dependiendo del tipo de tejido conectivo. Los componentes básicos, o *monómeros,* de estas

fibras se fabrican a través de las células del tejido conectivo y se segregan a la sustancia de base del espacio extracelular, donde se unen entre sí para formar diversos tipos de fibras.

Gracias a su matriz extracelular, el tejido conectivo puede formar una tela suave para envolver otros órganos, para soportar pesos y para resistir alargamientos y otros desgastes, como la fricción, que ningún otro tipo de tejido podría soportar. Pero hay variantes. Por un lado, el tejido adiposo está compuesto sobre todo de células y la matriz es blanda. En el extremo opuesto, los huesos y los cartílagos tienen muy pocas células y grandes cantidades de matriz dura, lo que les hace ser extremadamente fuertes. En la Figura 3.19 se muestra una lista de los diferentes tipos de tejidos conectivos y sus descripciones figuran a continuación.

Tipos de tejido conectivo

Como se ha señalado con anterioridad, todos los tejidos conectivos consisten en células vivas rodeadas por una matriz. Sus principales diferencias residen en el tipo de fibra y el número de fibras presentes en la matriz. Desde el más rígido al más blando, las principales clases de tejido conectivo son *hueso, cartílago, tejido conectivo denso* o *fibroso, tejido conectivo laxo* y la *sangre.*

Hueso

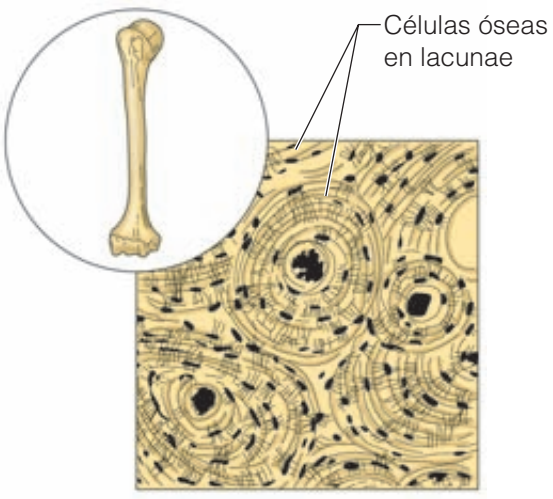
El **hueso,** a veces denominado *tejido óseo,* está compuesto de células óseas situadas en cavidades llamadas *lacunae* y rodeadas por capas de una matriz muy dura que contiene sales de calcio además de un gran número de fibras de colágeno (Figura 3.19a). Debido a su dureza rocosa, el hueso tiene una capacidad excepcional para proteger y hacer de soporte para otros órganos del cuerpo (por ejemplo, la calavera envuelve y protege al cerebro).

Cartílago

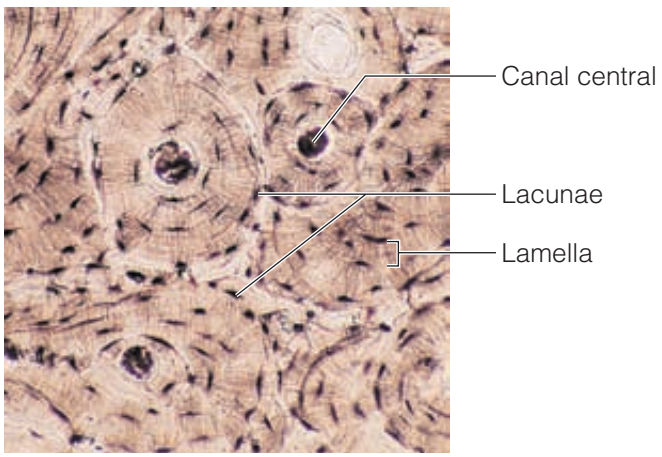
El **cartílago** es menos duro y más flexible que el hueso. Sólo se encuentra en unas pocas partes del organismo. El más extendido es el **cartílago hialino,** que tiene una gran cantidad de fibras de colágeno ocultas en una matriz gomosa con un aspecto vítreo blanco-azulado (*hialino* = vidrio) (Figura 3.19b). Forma las estructuras de soporte de la laringe, donde se origina la voz, une las costillas al esternón y recubre los finales de muchos huesos, donde forma las articulaciones. El esqueleto de un feto está formado en gran medida por cartílago hialino, pero, al momento de nacer, la mayor parte del cartílago se ha reemplazado ya por hueso.

Aunque el cartílago hialino es el tipo de cartílago más abundante en el cuerpo, existen otros tipos. El **fibrocartílago,** con una alta capacidad de compresión, forma los discos en forma de almohada entre las vértebras de la columna vertebral (Figura 3.19c). El **cartílago elástico** se encuentra allí donde se necesite una estructura con elasticidad. Por ejemplo, conforma las orejas. (El cartílago elástico no se ilustra en la Figura 3.19).

(Continúa en la página 97)

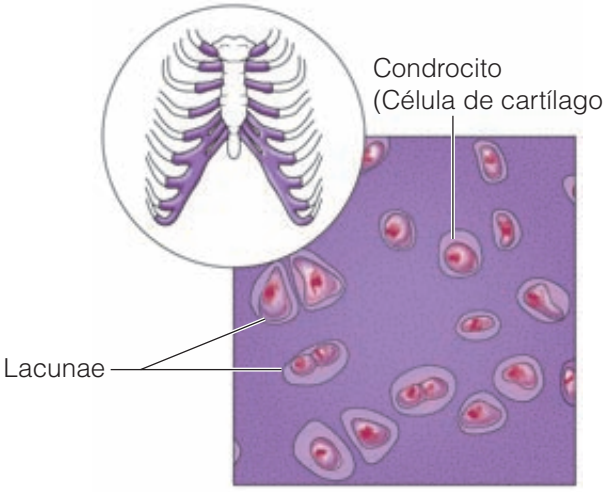


(a) Diagrama: hueso

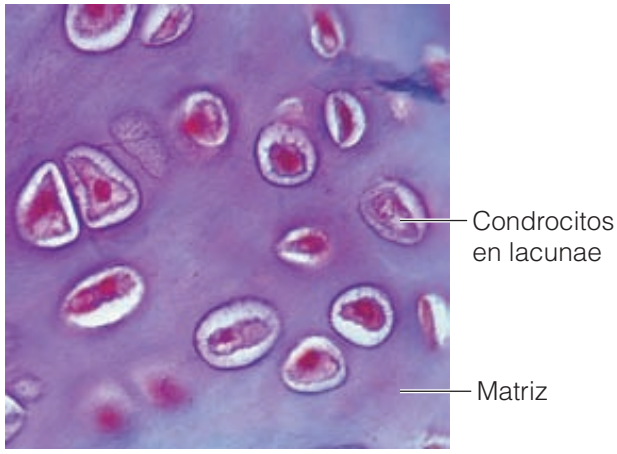


Microfotografía: vista del corte transversal de un hueso (250x).

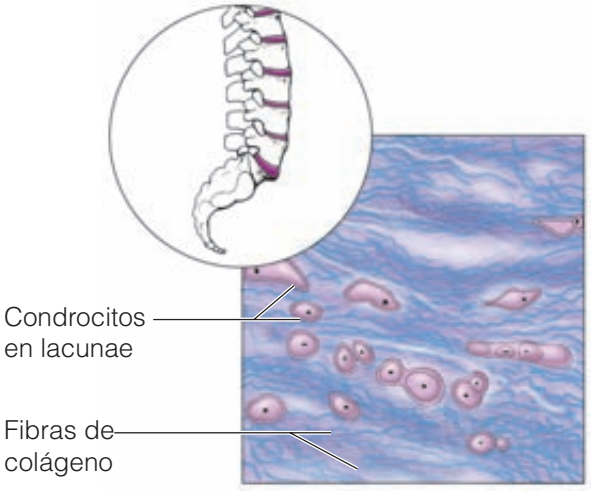
FIGURA 3.19 **Tejidos conectivos y sus localizaciones habituales en el organismo.**



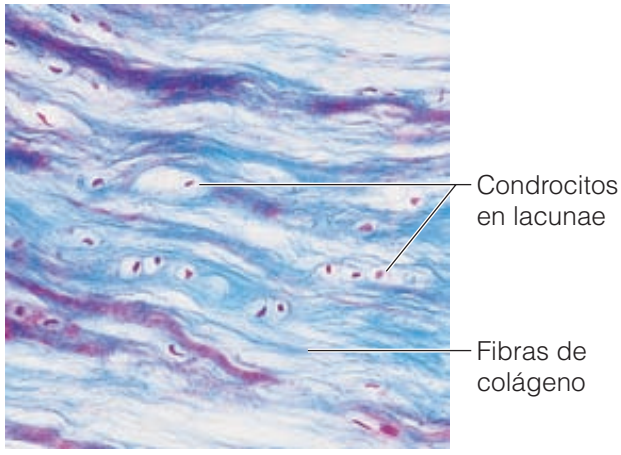
(b) Diagrama: cartílago hialino



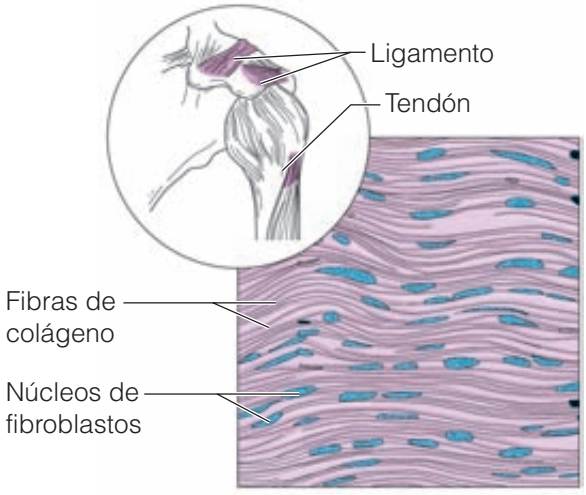
Microfotografía: cartílago hialino de la tráquea (400x).



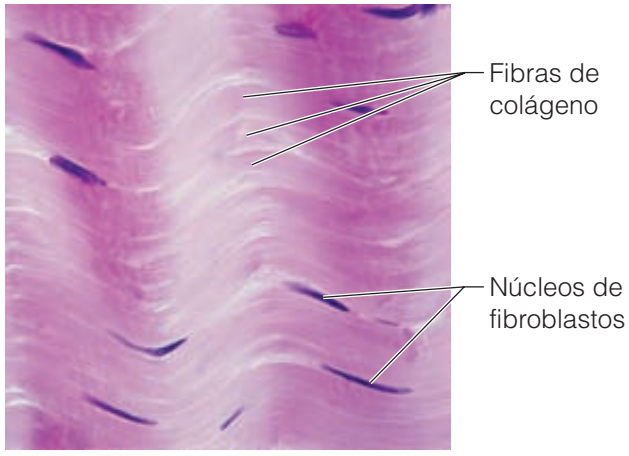
(c) Diagrama: fibrocartílago



Microfotografía: fibrocartílago en un disco intervertebral (200x).

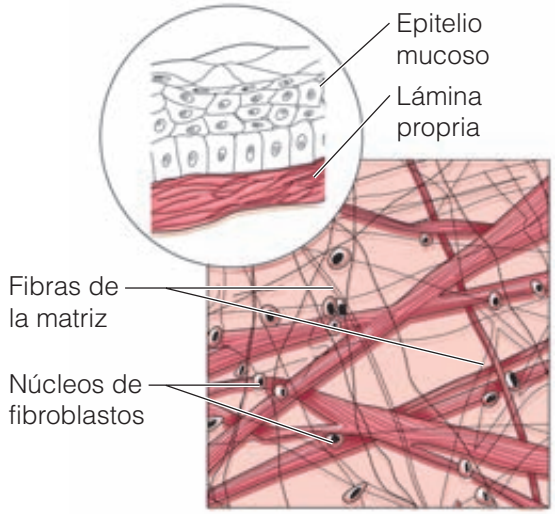


(d) Diagrama: denso fibroso

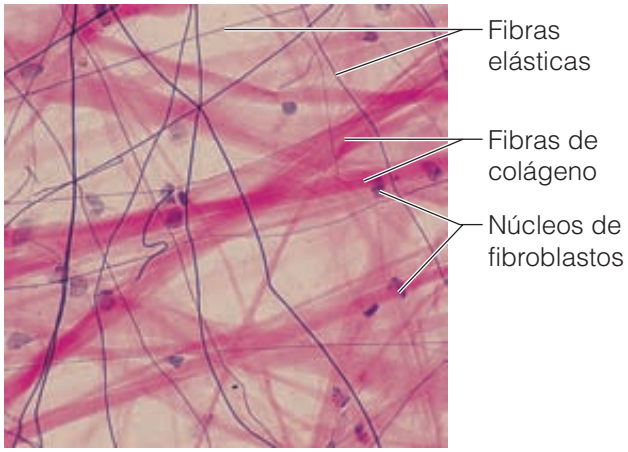


Microfotografía: tejido conectivo denso fibroso de un tendón (500x).

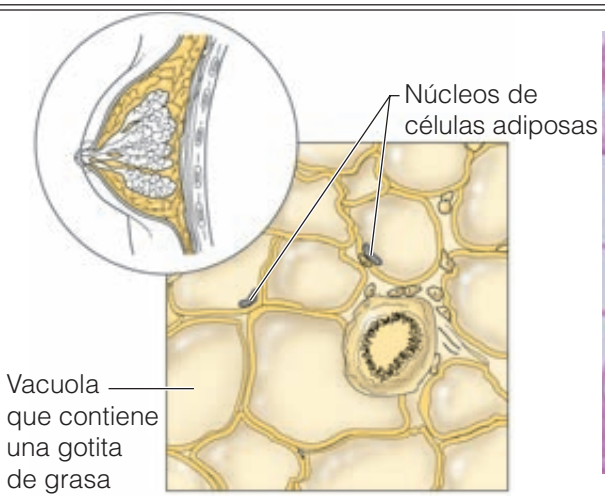
(Continúa en la página 96)



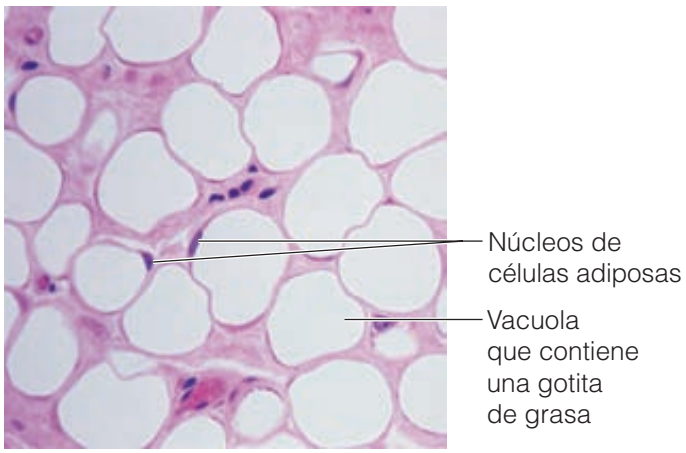
(e) Diagrama: areolar



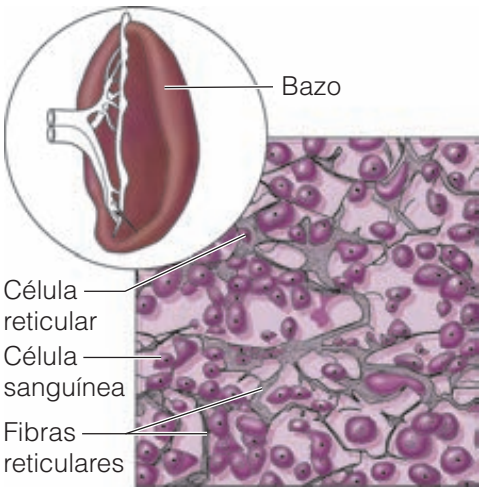
Microfotografía: tejido conectivo areolar, un tejido de envolturas suaves del organismo (330x).



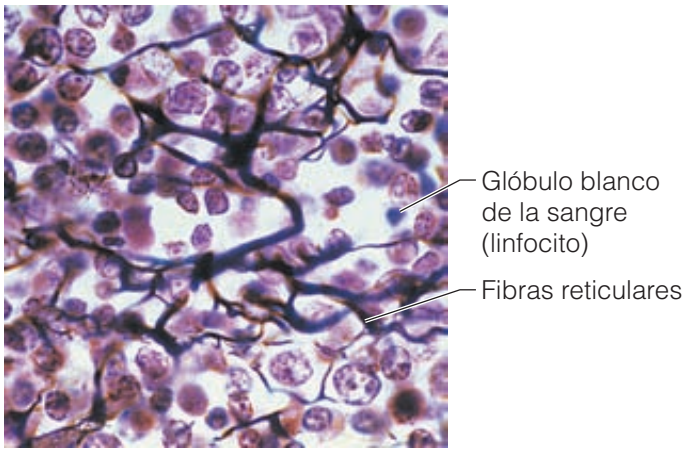
(f) Diagrama: adiposo



Microfotografía: tejido adiposo de la capa subcutánea bajo la piel (330x).

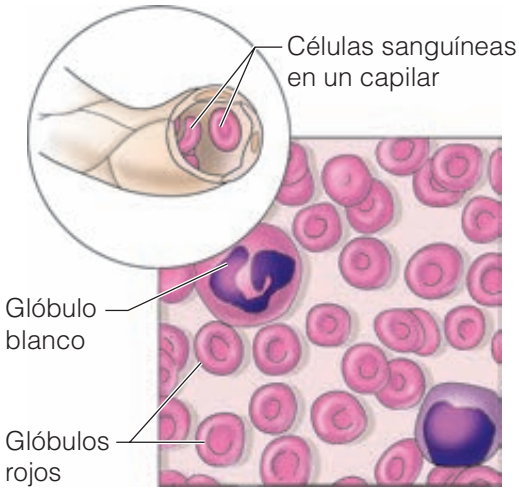


(g) Diagrama: reticular

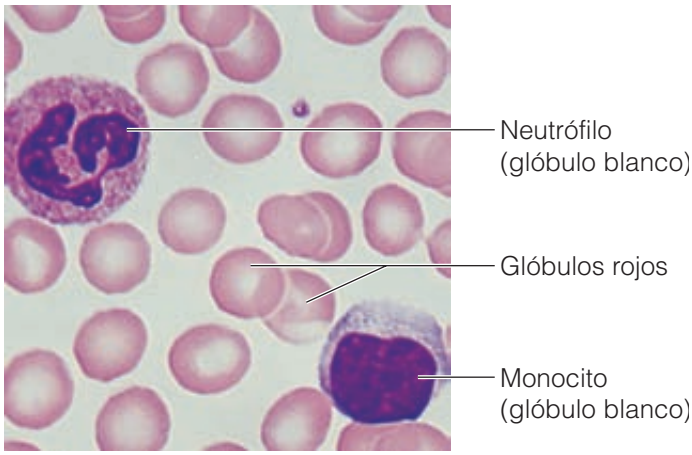


Microfotografía: red de color oscuro de tejido conectivo reticular (400x).

FIGURA 3.19 ***(continuación)*** **Tejidos conectivos y sus localizaciones habituales en el organismo.** (**e, f,** y **g** son subclases de los tejidos conectivos laxos).



(h) Diagrama: sangre



Microfotografía: cultivo de sangre humana (1300x).

FIGURA 3.19 ***(continuación)***

Tejido conectivo denso

El **tejido conectivo denso,** también denominado **tejido denso fibroso** o **tejido conectivo fibroso,** tiene fibras de colágeno como principal elemento de su matriz (Figura 3.19d). Apretados entre las fibras de colágeno se hallan filas de *fibroblastos* (células que fabrican fibra) que elaboran los componentes básicos de las fibras. El tejido conectivo denso forma estructuras resistentes con aspecto de cuerda como los tendones y los ligamentos. Los **tendones** unen los músculos esqueléticos a los huesos; los **ligamentos** conectan huesos con huesos en las articulaciones. Los ligamentos tienen mayor capacidad de alargamiento y contienen mayor cantidad de fibras elásticas que los tendones. El tejido conectivo denso también forma las capas inferiores de la piel (la dermis), donde se dispone en láminas.

Tejido conectivo laxo

En términos relativos, los **tejidos conectivos laxos** son más suaves y tienen más células y menos fibras que cualquier otro tipo de tejido conectivo a excepción de la sangre.

Tejido areolar El **tejido areolar,** la variedad de tejido conectivo más ampliamente distribuida por todo el cuerpo, es un tejido suave, flexible y parecido a las telas de araña que acolcha y protege los órganos corporales envolviéndolos (Figura 3.19e). Actúa como un tejido de recubrimiento universal y como un tejido conectivo que actúa como "pegamento", ya que ayuda a mantener unidos los órganos internos y en sus posiciones adecuadas. Una capa suave de tejido conectivo areolar llamado *lámina propria* está por debajo de todas las membranas mucosas. Su matriz líquida contiene fibras de todo tipo, que forman una red laxa. De hecho, cuando se observa con un microscopio, la mayor parte de la matriz parece ser un espacio vacío, lo que explica el nombre de este tipo de tejido (*areola* = pequeño espacio abierto). Dada su naturaleza laxa y fluida, el tejido conectivo areolar proporciona una reserva de agua y sales a los líquidos que le rodean, y esencialmente todas las células del organismo obtienen sus nutrientes de ese "líquido de tejido", así como le depositan sus residuos. Cuando una zona del cuerpo está inflamada, el tejido areolar de la zona absorbe el exceso de líquido como una esponja y adquiere un aspecto hinchado, un estado denominado **edema.** Muchos tipos de *fagocitos* se mueven por este tejido, en busca de bacterias, células muertas y otros restos, que destruyen.

Tejido adiposo Al **tejido adiposo** se le conoce normalmente como *grasa.* Básicamente se trata de un tejido areolar en el que predominan las células adiposas (Figura 3.19f). Una brillante gotita de aceite ocupa la mayor parte del volumen de una célula adiposa y comprime su núcleo, desplazándolo a un lado. Ya que la zona que contiene el aceite parece vacía y el fino aro de citoplasma en el que sobresale el núcleo se parece a un anillo con un sello, a las células adiposas se les llama a veces *células en anillo de sello.*

El tejido adiposo forma el tejido subcutáneo bajo la piel, donde aísla al cuerpo y le protege de los golpes y del calor y frío extremos. El tejido adiposo también protege individualmente algunos órganos (los riñones están rodeados por una cápsula de grasa, y el tejido adiposo

acomoda a los globos oculares en sus oquedades). También hay "depósitos" de grasa en el organismo, como las caderas y los pechos, donde se almacena la grasa y está disponible como combustible para cuando sea necesaria.

Tejido conectivo reticular El **tejido conectivo reticular** consiste en una red delicada de fibras reticulares entrelazadas que están asociadas a las *células reticulares,* que recuerdan a los fibroblastos (Figura 3.19g). El tejido reticular aparece sólo en algunas partes: forma el **estroma** (literalmente "lecho" o "colchón"), o estructura interna que puede contener muchas células libres de la sangre (en gran medida linfocitos), en los órganos linfoides como los ganglios linfáticos, el bazo y la médula ósea.

Sangre

La **sangre**, o *tejido vascular,* se considera un tejido conectivo porque consiste en *células sanguíneas* rodeadas de una matriz fluida y no viva llamada *plasma sanguíneo* (Figura 3.19h). Las "fibras" de la sangre son moléculas de proteínas solubles que se hacen visibles sólo durante la coagulación de la sangre. Aun así, es necesario reconocer que la sangre es un tejido conectivo bastante atípico. La sangre es el vehículo de transporte para el sistema cardiovascular, y transporta nutrientes, residuos, los gases de la respiración y muchas otras sustancias por todo el organismo. La sangre será tratada con detalle en el Capítulo 10.

Tejido muscular

Los **tejidos musculares** están muy especializados en *contraerse* o *acortarse* para producir movimiento.

Tipos de tejido muscular

Los tres tipos de tejido muscular aparecen ilustrados en la Figura 3.20. Fíjate en sus coincidencias y diferencias según vayas leyendo sus descripciones.

Músculo esquelético

El tejido del **músculo esquelético** está formado por láminas de tejido conectivo con el objeto de constituir órganos que se llaman *músculos esqueléticos,* que están unidos al esqueleto. Estos músculos, que se pueden controlar *voluntariamente* (o conscientemente), forman la carne del organismo, el llamado sistema muscular (véase el Capítulo 6). Cuando los músculos esqueléticos se contraen, tiran de los huesos o de la piel. El resultado de su acción son los grandes movimientos corporales o los cambios en nuestras expresiones faciales. Las células de los músculos esqueléticos son largas, cilíndricas, multinucleadas y tienen *estriaciones* (bandas) muy evidentes. Ya que las células de los músculos esqueléticos son alargadas para proporcionar un eje prolongado que permita la contracción, a menudo se les llama *fibras musculares.*

Músculo cardiaco

El **músculo cardiaco,** que se trata con más detalle en el Capítulo 11, sólo se encuentra en el corazón. Conforme se contrae, el corazón actúa como una bomba y empuja la sangre a través de los vasos sanguíneos. Al igual que los músculos esqueléticos, el músculo cardiaco tiene estriaciones, pero las células cardíacas son células uninucleadas, relativamente cortas y ramificadas, que se enlazan entre sí estrechamente (como los dedos apretados) en uniones llamadas **discos intercalados.** Estos discos intercalados contienen uniones gap que permiten que los iones pasen libremente de célula a célula, lo que da como resultado una rápida conducción del impulso eléctrico de excitación por todo el corazón. El músculo cardiaco está sometido a un *control involuntario,* lo que quiere decir que no se puede controlar conscientemente la actividad del corazón. (Hay, sin embargo, algunos individuos que afirman poseer esa capacidad).

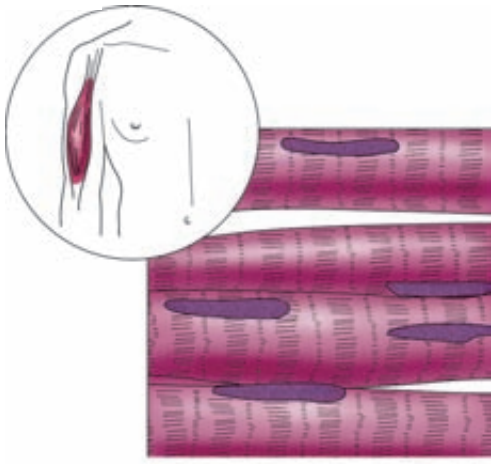
Músculo liso

El **músculo liso** o **visceral** recibe este nombre porque no tiene estriaciones visibles. Las células individuales poseen un único núcleo y tienen forma de huso (con punta en cada uno de sus dos lados). El músculo liso aparece en las paredes de los órganos huecos como el estómago, el útero y los vasos sanguíneos. Conforme el músculo liso se contrae, la cavidad de un órgano se hace alternativamente menor (estrechamiento por la contracción del músculo liso) o mayor (dilatación por la relajación del músculo liso), de manera que las sustancias se propulsan a través del órgano siguiendo un camino determinado. El músculo liso se contrae con mucha mayor lentitud que los otros dos tipos de músculos. La *peristalsis,* un movimiento en oleada que mantiene el tránsito de los alimentos por el intestino delgado, es típica de la actividad de este tipo de músculos.

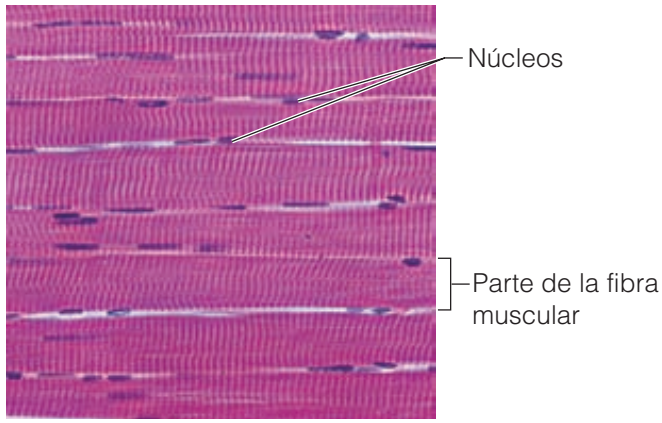
Tejido nervioso

Pensar en el **tejido nervioso** es pensar en las **neuronas,** células que reciben y conducen impulsos electroquímicos de una parte del cuerpo a otra. Por lo tanto, dos de sus principales características funcionales son la *irritabilidad* y la *conductividad.* La estructura de las neuronas es única (Figura 3.21). Su citoplasma se extiende en largas protuberancias (extensiones), como de un metro o más, en la pierna, lo que le permite a una sola neurona conducir un impulso a lo largo de grandes distancias en el organismo. Las neuronas, junto con un grupo especial de **células de soporte** que aíslan, sirven de apoyo y protegen a las delicadas neuronas, forman las estructuras del sistema nervioso (el cerebro, la médula espinal y los nervios).

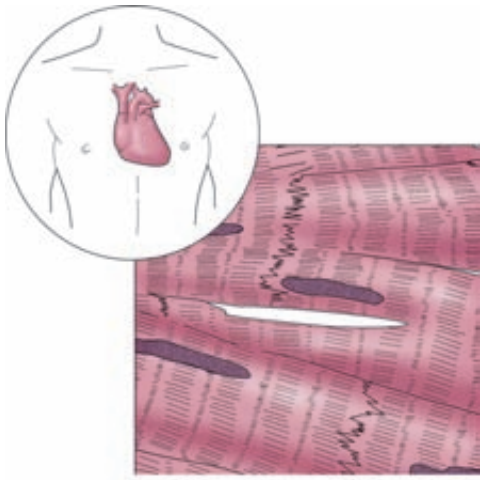
La división celular normalmente cede dos células hijas, cada una con un núcleo. ¿Cómo se explica que las células del músculo esquelético tengan varios núcleos?



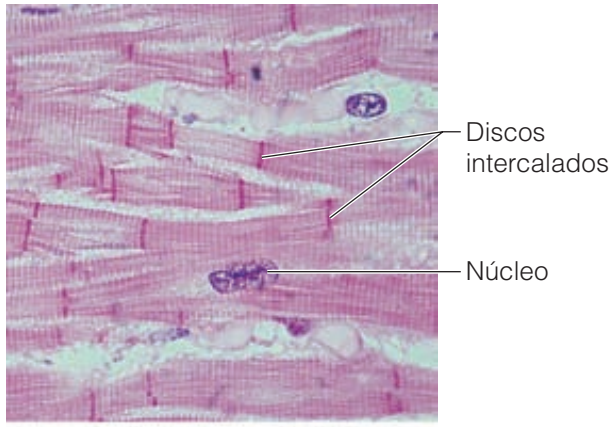
(a) Diagrama: músculo esquelético



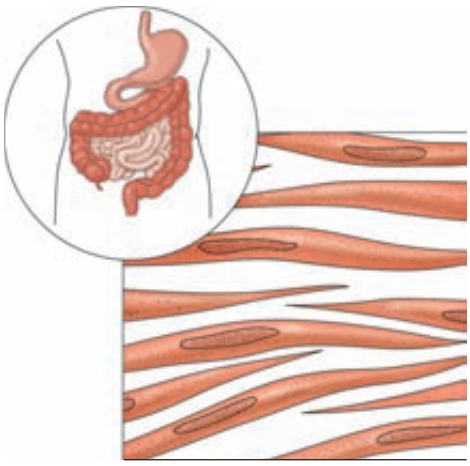
Microfotografía: músculo esquelético (aprox. 250x).



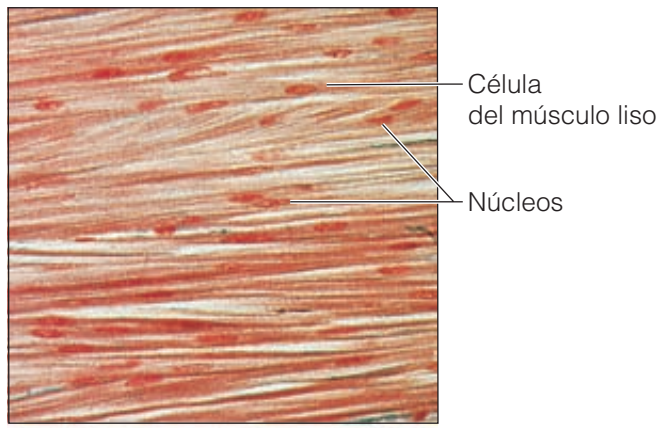
(b) Diagrama: músculo cardíaco



Microfotografía: músculo cardiaco (800x).



(c) Diagrama: músculo liso



Microfotografía: lámina de músculo liso (aprox. 250x).

FIGURA 3.20 **Tipos de tejido muscular y sus localizaciones habituales en el organismo.**

Las células del músculo esquelético sufren mitosis repetidas que no vienen acompañadas de citocinesis.

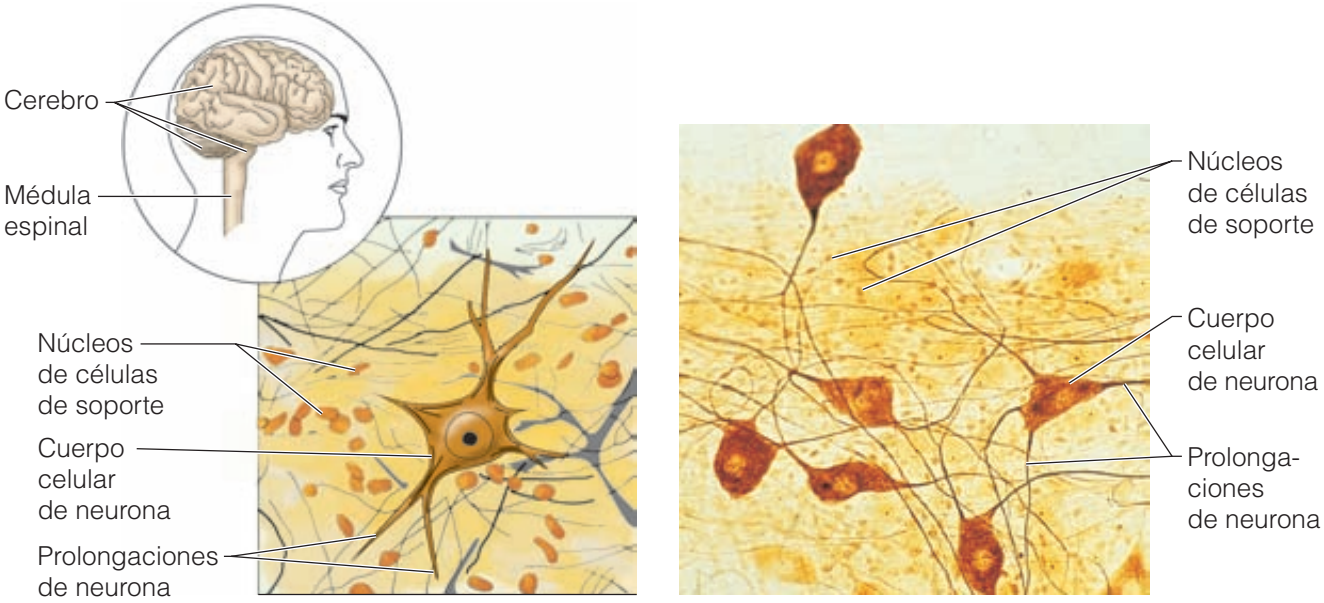


Diagrama: tejido nervioso **Microfotografía:** neuronas (200x)

FIGURA 3.21 **Tejido nervioso.** Las neuronas y las células de soporte forman el cerebro, la médula espinal y los nervios.

Reparación de tejidos (curación de heridas)

El cuerpo dispone de muchas técnicas para protegerse a sí mismo de los huéspedes no invitados o de los daños. Barreras físicas intactas como la piel o las membranas mucosas, los cilios y el fuerte ácido producido por las glándulas estomacales son simplemente tres ejemplos de defensas corporales a nivel tisular (de tejido) local. Cuando se dañan los tejidos, esto estimula las respuestas inmunes e inflamatorias del cuerpo y el proceso de curación empieza casi inmediatamente. La inflamación es una respuesta del organismo generalizada (no específica) que intenta evitar mayores daños. La respuesta inmune, por el contrario, es extremadamente específica y organiza un ataque vigoroso contra invasores reconocidos (bacterias, virus, toxinas). Estas respuestas protectoras se tratan en profundidad en el Capítulo 12. Aquí nos vamos a centrar en el proceso de reparación de tejidos.

La reparación de tejidos, o curación de heridas, ocurre principalmente de dos maneras: por regeneración y por fibrosis. La **regeneración** es la sustitución de tejido destruido por el mismo tipo de células, mientras que la **fibrosis** implica la reparación por tejido conectivo denso (fibroso), esto es, por la formación de *tejido cicatricial*. Lo que ocurre depende de (1) el tipo de tejido dañado y (2) la gravedad de los daños. Generalmente, los cortes limpios (incisiones) se curan mucho mejor que los desgarramientos desiguales del tejido.

Los daños producidos en los tejidos desencadenan una serie de acontecimientos:

- **Los capilares se vuelven muy permeables.** Esto permite que el líquido rico en proteínas coagulantes y en otras sustancias penetre en el área dañada desde el torrente sanguíneo. Entonces estas proteínas forman un coágulo, que frena la pérdida de sangre, mantiene unidos los bordes de la herida y tapona la zona dañada, evitando que las bacterias y otras sustancias dañinas se extiendan a tejidos circundantes. Allí donde el coágulo está expuesto al aire, se seca rápidamente y se endurece, formando una costra.
- **Se forma un tejido de granulación.** El *tejido de granulación* es un tejido rosado delicado formado en su mayor parte por nuevos capilares que crecen en el área dañada a partir de vasos sanguíneos cercanos que no están dañados. Estos capilares son frágiles y sangran libremente, como cuando se arranca una costra de una herida cutánea. El tejido de granulación también contiene fagocitos, los cuales al final se deshacen del coágulo de sangre y de las células de tejido conectivo (fibroblastos) que sintetizan los componentes básicos de las fibras de colágeno (tejido cicatricial) para cerrar el hueco de forma permanente.

- **El epitelio superficial se regenera.** A medida que el epitelio superficial comienza a regenerarse, se va abriendo camino a través del tejido de granulación justo debajo de la costra. Ésta pronto se cae y el resultado final es un epitelio superficial totalmente regenerado que cubre un área subyacente de fibrosis (la cicatriz). La cicatriz, o es invisible o es visible como una delgada línea blanca, dependiendo de la gravedad de la herida.

La capacidad de los distintos tipos de tejido para regenerarse varía mucho. Los tejidos epiteliales como la epidermis cutánea y las membranas mucosas se regeneran de forma sorprendente. También lo hacen la mayoría de los tejidos conectivos y el óseo. El músculo esquelético se regenera mal, si lo hace, y el músculo cardíaco y el tejido nervioso dentro del cerebro y de la médula espinal son sustituidos en gran parte por tejido cicatricial.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El tejido cicatricial es fuerte, pero le falta la flexibilidad de la mayoría de los tejidos normales. Tal vez más importante es su incapacidad de realizar las funciones normales del tejido al que sustituye. Así, si el tejido cicatricial se forma en la pared de la vejiga, del corazón o de otro órgano muscular, puede perjudicar gravemente el funcionamiento de ese órgano. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

22. ¿Qué dos criterios se utilizan para clasificar los tejidos epiteliales?
23. ¿Qué diferencias hay entre las glándulas endocrinas y exocrinas en cuanto a estructura y función?
24. ¿En qué se diferencian significativamente los tejidos conectivos de otros tejidos?
25. De los tres tipos de tejido muscular, ¿cuál es estriado? ¿Cuál es voluntario?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE CÉLULAS Y TEJIDOS

Todos empezamos la vida como una sola célula, que se divide miles de veces para formar nuestro organismo embrionario multicelular. Muy temprano en el desarrollo embrionario, las células empiezan a especializarse para formar los tejidos primarios y, para cuando se produce el nacimiento, la mayoría de los órganos están bien formados y en funcionamiento. El cuerpo continúa creciendo y agrandándose, formando nuevo tejido durante la infancia y la adolescencia.

La división celular es muy importante durante el periodo de crecimiento del organismo. La mayoría de las células (excepto las neuronas) sufren mitosis hasta el final de la pubertad, cuando se alcanza el tamaño corporal adulto y finaliza el crecimiento general. Después de este periodo, sólo ciertas células se dividen de forma rutinaria (son mitóticas), por ejemplo las células expuestas al rozamiento, que continuamente se desgastan, como las células de la piel y del intestino. Las células hepáticas dejan de dividirse, pero mantienen esta capacidad por si alguna de ellas muere o resulta dañada y es necesario sustituirla. Aun otros grupos de células (como el tejido muscular del corazón y el tejido nervioso) pierden casi completamente su capacidad para dividirse cuando llegan a la madurez total, es decir, se vuelven *amitóticos*. Los tejidos amitóticos se encuentran en gran desventaja cuando hay daños, ya que las células perdidas no pueden ser reemplazadas por el mismo tipo de células. Éste es el motivo de que el corazón de una persona que ha padecido varios ataques graves al corazón cada vez se vuelva más y más débil. El músculo cardiaco dañado no se regenera y es sustituido por tejido cicatricial que no puede contraerse, de modo que el corazón es cada vez menos capaz de actuar como una eficiente bomba de sangre.

El proceso de envejecimiento empieza cuando se ha alcanzado la madurez. (Hay quienes piensan que comienza en el nacimiento). Nadie ha sido capaz de explicar *qué* es lo que causa el envejecimiento, pero ha habido muchas sugerencias. Algunos creen que es resultado de pequeños "maltratos químicos", lo cual ocurre continuamente a lo largo de la vida, por ejemplo, la presencia de sustancias químicas tóxicas (como el alcohol, ciertos medicamentos o monóxido de carbono) en la sangre, o la ausencia temporal de sustancias necesarias como la glucosa o el oxígeno. Tal vez el efecto de estos maltratos químicos es acumulativo y finalmente sale victorioso al romper el delicado equilibrio químico de las células del cuerpo. Otros piensan que factores físicos externos como la radiación (los rayos X o las ondas ultravioleta) contribuyen al proceso de envejecimiento. Otra teoría más sostiene que el "reloj" biológico está programado genéticamente en nuestros genes. Todos conocemos casos como la mujer radiante de 50 años que parece tener 35 o el joven de 24 que apenas acaba de salir de la adolescencia y ya tiene un aspecto de 40. Parece ser que esas características pueden transmitirse en las familias.

No hay duda de que ciertos acontecimientos son parte del proceso de envejecimiento. Por ejemplo, con la edad, las membranas epiteliales se vuelven más finas y son más propensas a sufrir daños, y la piel pierde su

MÁS DE CERCA

CÁNCER, EL ENEMIGO ÍNTIMO

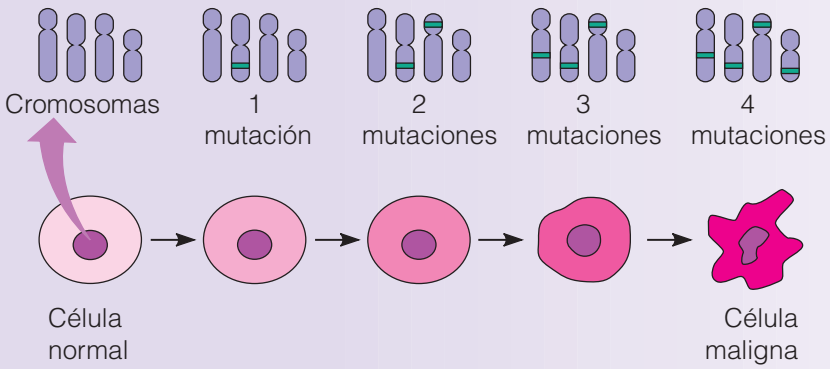
La palabra *cáncer* produce espanto a casi todo el mundo. ¿Por qué el cáncer ataca a unos y no a otros? Antes de intentar responder a esa pregunta, definamos algunos términos. Una masa celular anormal que se desarrolla cuando los controles del ciclo celular y de la división celular no funcionan bien se denomina **neoplasia** ("nuevo crecimiento") o **tumor.** Sin embargo, no todas las neoplasias son cancerosas. Las neoplasias **benignas** son totalmente locales. Tienden a estar rodeadas de una cápsula, crecer lentamente y pocas veces matan a sus anfitriones si se extirpan antes de que compriman órganos vitales. Por el contrario, las neoplasias **malignas** ("cánceres") son masas no encapsuladas que crecen de manera más implacable y que pueden llegar a matar. Sus células tienen el aspecto de células inmaduras e invaden sus alrededores en vez de apartarlos, como se deriva de la palabra *cáncer,* que procede del término latino para denominar "cangrejo". Mientras que las células normales se vuelven fatalmente "nostálgicas" y mueren cuando pierden el contacto con la matriz circundante, las células malignas tienden a separarse de la masa madre y a dispersarse viajando en el torrente sanguíneo a partes distantes del cuerpo, en las que forman nuevas masas. Esta capacidad se llama *metástasis*. Además, las células cancerígenas consumen una cantidad excepcional de nutrientes del cuerpo, lo que implica pérdida de peso y de tejido que acaba llevando a la muerte.

¿Qué causa la transformación, los cambios que convierten una célula normal en una célula cancerígena? Es bien conocido que la radiación, los traumas mecánicos, ciertas infecciones víricas y muchas sustancias químicas (el alquitrán del tabaco, la sacarina) pueden actuar como **carcinógenos** (causantes de cáncer). Lo que todos estos factores tienen en común es que todos ellos causan *mutaciones,* cambios en el DNA que alteran la expresión de ciertos genes. Sin embargo, la mayoría de los carcinógenos son eliminados por las enzimas de los peroxisomas o de los lisosomas o el sistema inmunológico. Además, una mutación no lo consigue; aparentemente, es necesaria una secuencia de varios cambios genéticos para transformar una célula normal en una célula cancerosa en toda regla. Véase la figura (a).

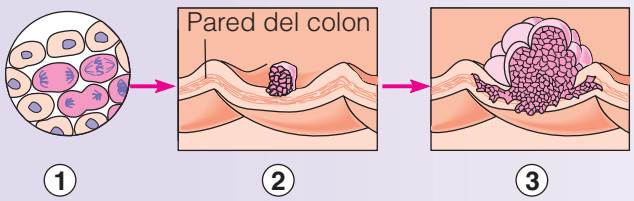
"Las semillas del cáncer están en nuestros genes."

La información sobre el papel de los genes fue suministrada por el descubrimiento de los *oncogenes* (genes causantes de tumores) y después de los *protooncogenes*). Los protooncogenes codifican las proteínas necesarias para la división celular normal y para el crecimiento. No obstante, muchos tienen puntos frágiles que se rompen cuando son expuestos a los carcinógenos, lo que les convierte en oncogenes. Un ejemplo de un problema que podría resultar de esta conversión es que despierten genes latentes que permiten que las células se vuelvan invasivas (una capacidad de las células embrionarias y de las células cancerígenas, pero no de las células adultas normales). Sin embargo, los oncogenes se han descubierto en sólo del 15 al 20% de los cánceres humanos, de modo que el más reciente descubrimiento de *genes supresores de tumores,* o antioncogenes, cuya labor es suprimir o evitar el cáncer, no ha sido demasiado sorprendente. Los genes supresores de tumores (como el *p*53 y el *p*16) ayudan en la reparación del DNA, ponen freno a la división celular, contribuyen a inactivar carcinógenos o potencian la capacidad del sistema inmunitario para destruir células cancerígenas. Cuando los genes supresores de tumores están dañados o alterados de alguna manera, los oncogenes pueden actuar libremente. Uno de los cánceres humanos mejor comprendidos, el cáncer de colon, ilustra este principio; véase la figura (b). El primer síntoma de cáncer de colon es un pólipo (tumor benigno), que se forma cuando el ritmo de división de células aparentemente normales del recubrimiento del colon sufre un aumento inusual. Tarde o temprano, aparece una neoplasia maligna en ese lugar. En la mayor parte de los casos, estos cambios son paralelos a otros cambios celulares a nivel del DNA e incluyen la activación de un oncogén y la inactivación de dos genes supresores de tumores. Sea cual sea el factor genético preciso que esté actuando, las semillas del cáncer están en nuestros genes. Así, como puedes ver, el cáncer es, de hecho, un enemigo íntimo.

Casi la mitad de los estadounidenses desarrolla cáncer a lo largo de su vida, y un quinto de ellos muere por esta causa. El cáncer puede aparecer en casi cualquier tipo de célula, pero los cánceres más habituales se originan en la piel, los pulmones, el colon, las mamas y la glándula prostática



(a) Acumulación de mutaciones en el desarrollo de una célula cancerígena.



(b) Desarrollo por pasos de un típico cáncer de colon.

masculina. Aunque la incidencia de los cánceres de estómago y colon es baja, la tasa de cánceres de piel y de tejido linfático es alta.

Los procedimientos de escaneo, como el auto-examen mamario o de los testículos para encontrar bultos y la comprobación de las heces por si hubiera sangre, ayudan en la detección temprana de los cánceres. Desafortunadamente, la mayoría de los cánceres son diagnosticados sólo después de que los síntomas (dolor, sangrado, bultos, etc.) hayan aparecido. En este caso, el método de diagnóstico más utilizado es la biopsia. En una biopsia, se toma quirúrgicamente (o por medio de raspado) una muestra del tumor primario y se examina al microscopio para buscar cambios estructurales típicos de las células malignas. Cada vez más, se realiza un diagnóstico mediante el análisis genético o químico de las muestras de tejido, en el que se tipifican las células cancerígenas para determinar qué genes están aletargados o han despertado o qué medicamentos serán más efectivos. Se pueden utilizar imágenes por resonancia magnética (IRM) o tomografías computarizadas (TC) para detectar grandes cánceres.

El tratamiento alternativo para cada tipo de neoplasia es la extirpación quirúrgica. Si no es posible la cirugía, como en los casos en los que el cáncer se ha extendido mucho o no se puede operar, se utilizan la radiación y los medicamentos (quimioterapia). Las medicinas contra el cáncer tienen efectos secundarios desagradables debido a que la mayoría ataca a *todas* las células que se dividen rápido, incluyendo a las normales. Entre estos efectos secundarios se pueden citar náuseas, vómitos y pérdida del cabello. Los rayos X, pese a estar muy localizados, también tienen efectos secundarios porque, al pasar por el cuerpo, matan células sanas que se encuentran en su camino a la vez que las células cancerígenas.

Los tratamientos actuales contra el cáncer son reconocidamente burdos y dolorosos, se dice de ellos que "cortan, queman y envenenan". Nuevos métodos prometedores se centran en lo siguiente:

- Suministrar radiación o medicamentos contra el cáncer que lo ataquen de un modo más preciso (mediante anticuerpos monoclonales que responden a un tipo de proteína en una célula cancerígena).
- Aumentar la capacidad del sistema inmunitario para repeler el cáncer.
- Matar a los tumores cortándoles su capacidad de atraer un rico suministro de sangre.
- Destruir células cancerígenas con virus.

Además, a nivel clínico se está probando una vacuna contra el cáncer. A medida que las técnicas de diagnóstico y tratamiento del cáncer se vuelven más y más específicas, cada vez resulta más posible curar muchos tipos de cáncer.

elasticidad y comienza a combarse. Las glándulas exocrinas del cuerpo (el tejido epitelial) se vuelven menos activas y empezamos a "secarnos" a medida que se producen menos grasas, mucosidad y sudor. Algunas glándulas endocrinas producen menores cantidades de hormonas y los procesos corporales que controlan (como el metabolismo y la reproducción) se vuelven menos eficientes o paran del todo.

Las estructuras del tejido conectivo también muestran cambios con la edad. Los huesos se vuelven porosos y se debilitan y la reparación de los daños en los tejidos se ralentiza. Los músculos empiezan a desgastarse. Aunque una dieta pobre puede contribuir a algunos de estos cambios, hay pocas dudas acerca del hecho de que una menor eficiencia del sistema circulatorio, que reduce el aporte de nutrientes y oxígeno a los tejidos del cuerpo, es un factor principal.

Además de los cambios en los tejidos asociados al envejecimiento, que se aceleran en los últimos años de vida, en cualquier momento pueden darse otras modificaciones en las células y los tejidos. Por ejemplo, cuando las células dejan de ejercer un control normal en la división celular y se multiplican sin control, hace su aparición una masa anormal de células que proliferan, conocida como **neoplasia** ("nuevo crecimiento"). Las neoplasias pueden ser benignas o malignas (cancerosas). Véase la sección "Más de cerca", en las páginas 102 y 103, para obtener más información sobre el cáncer.

Sin embargo, no todos los aumentos en el número de células son neoplasias. Ciertos tejidos del cuerpo (u órganos) pueden alargarse porque haya un irritante local o una situación que estimule a las células. Esta respuesta se denomina **hiperplasia.** Por ejemplo, los pechos de una mujer se agrandan durante el embarazo como respuesta a un aumento de las hormonas; ésta es una situación normal pero temporal que no tiene por qué ser tratada. Por el contrario, la **atrofia,** o la disminución de tamaño, puede tener lugar en un órgano o un área del cuerpo que pierde su estimulación normal. Por ejemplo, los músculos que no se utilicen o que hayan perdido su suministro nervioso empiezan a atrofiarse y a desgastarse rápidamente.

¿LO HAS ENTENDIDO?

26. ¿Cuál de los cuatro tipos de tejido es más probable que permanezca mitótico a lo largo de la vida?
27. ¿Qué es una neoplasia?
28. ¿Cómo cambia la actividad de las glándulas endocrinas a medida que el cuerpo envejece?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

Debajo aparece una referencia a los medios electrónicos de estudio que sirven de repaso adicional sobre los asuntos clave del Capítulo 3.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

PARTE I: LAS CÉLULAS (págs. 65-88)

Introducción a la base celular de la vida (págs. 65-66)

1. Una célula está compuesta principalmente por cuatro elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, aparte de muchos elementos traza. La materia viva es más de un 60% agua. El principal componente básico de las células son las proteínas.
2. El tamaño de las células varía desde ser microscópico hasta más de un metro de largo. La forma a menudo refleja la función. Por ejemplo, las células musculares tienen un eje largo que les permite acortarse.

Anatomía de una célula tipo (págs. 66-76)

1. Las células tienen tres regiones principales: el núcleo, el citoplasma y la membrana plasmática.
   a. El núcleo, o centro de control, dirige la actividad celular y es necesario para la reproducción. El núcleo contiene material genético (DNA), que porta las instrucciones para la síntesis de proteínas.
   b. La membrana plasmática limita y encierra el citoplasma y actúa como una barrera selectiva para el movimiento de sustancias hacia dentro y hacia fuera de la célula. Está compuesto por una bicapa lipídica que contiene proteínas. La porción de lípido impermeable al agua forma la estructura básica de la membrana. Las proteínas (muchas de las cuales son glucoproteínas) actúan como enzimas o portadoras en el transporte de membrana, forman canales de membrana, proporcionan lugares de recepción para las hormonas y otras sustancias químicas o juegan un papel en el reconocimiento celular y en las interacciones durante el desarrollo y en las reacciones inmunes.

      Como especializaciones de la membrana plasmática se pueden citar las microvellosidades (que

aumentan el área de absorción) y las uniones celulares (desmosomas, uniones fuertes y uniones gap).

WEB Actividad: Chapter 3, Structure of the plasma membrane.

c. El citoplasma es donde tienen lugar la mayor parte de las actividades celulares. Su sustancia líquida, el citosol, contiene inclusiones, materiales almacenados o inactivos, en el citoplasma (glóbulos de grasa, vacuolas de agua, cristales, etc.) y cuerpos especializados llamados orgánulos, cada uno con una función específica. Por ejemplo, las mitocondrias son lugares de síntesis de ATP, los ribosomas son lugares donde tiene lugar la síntesis de proteínas y el aparato de Golgi empaqueta proteínas para exportarlas desde la célula. Los lisosomas realizan la digestión intracelular y los peroxisomas desactivan a las sustancias químicas peligrosas dentro de las células. Los elementos del citoesqueleto trabajan en el soporte celular y en el movimiento. Los centriolos juegan un papel en la división celular y forman la base de los cilios y los flagelos.

WEB Actividad: Chapter 3, Parts of the Cell: Structure.

Fisiología celular (págs. 76-88)

1. Todas las células muestran irritabilidad, digieren alimentos, excretan sustancias de deshecho y son capaces de reproducirse, crecer, moverse y metabolizarse.

2. Transporte de sustancias a través de la membrana celular:

   WEB Ejercicio: Chapter 3, Membrane Transport.

   a. Entre los procesos de transporte pasivo se incluyen la difusión y la filtración.

      (1) La difusión es el movimiento de una sustancia de un área de mayor concentración a un área de menor concentración. Ocurre debido a la propia energía cinética de las moléculas. La difusión de los solutos disueltos a través de la membrana plasmática es simple difusión. La difusión del agua a través de la membrana plasmática es ósmosis. La difusión que necesita un canal de proteínas o un transporte es difusión facilitada.

      WEB Actividad: Chapter 3, Passive Transport.

      (2) La filtración es el movimiento de sustancias a través de una membrana desde un área de gran presión hidrostática hacia un área de menor presión líquida. En el cuerpo, el motor de la filtración es la presión sanguínea.

   b. El transporte activo y el transporte vesicular utilizan energía (ATP) proporcionada por la célula.

      (1) En el transporte activo las sustancias son movidas a través de la membrana en contra de un gradiente de concentración o eléctrico mediante proteínas llamadas bombas de soluto. Esto se aplica al transporte de aminoácidos, a algunos azúcares y a la mayoría de los iones.

      (2) Los dos tipos de transporte vesicular activado por el ATP son la exocitosis y la endocitosis. La primera expulsa secreciones y otras sustancias de las células; una vesícula unida a la membrana se une a la membrana plasmática, se rompe y sus contenidos se esparcen por el exterior de la célula. La endocitosis, en la que las partículas son recogidas y metidas dentro de un saco de la membrana plasmática, incluyen la fagocitosis (recogida de partículas sólidas), la pinocitosis (recogida de líquidos) y la altamente selectiva endocitosis, mediada por receptores. En la última, los receptores de membrana se unen y sólo incluyen moléculas objetivo seleccionadas.

3. La presión osmótica, que refleja la concentración de soluto de una solución, determina si las células ganan o pierden agua. (Véase la sección "Más de cerca" de las páginas 80 y 81).

   a. Las soluciones hipertónicas contienen más solutos (y menos agua) que las células. En estas soluciones las células pierden agua por ósmosis y se encogen.

   b. Las soluciones hipotónicas contienen menos solutos (y más agua) que las células. En estas soluciones las células se hinchan y pueden romperse (lisis) cuando el agua entra con gran fuerza debido a la ósmosis.

   c. Las soluciones isotónicas, que tienen la misma proporción soluto-disolvente que las células, no causan cambios en el tamaño o la forma de las células.

4. La división celular tiene dos fases, la mitosis (división nuclear) y la citocinesis (división del citoplasma).

   a. La mitosis comienza después de que el DNA se haya replicado (durante la interfase); consiste en cuatro fases: profase, metafase, anafase y telofase. El resultado son dos núcleos hijos, cada uno idéntico al núcleo padre.

   b. La citocinesis suele empezar durante la anafase y progresivamente va cortando el citoplasma por la mitad. La citocinesis no ocurre siempre; en esos casos, el resultado son células bi o multinucleadas.

   c. La división celular mitótica proporciona mayor número de células para el crecimiento y la reparación.

5. La síntesis de proteínas implica tanto el DNA (los genes) como el RNA.

   a. Un gen es un segmento de DNA que lleva las instrucciones para construir una proteína. La información está en la secuencia de bases en las hebras de nucleótido. Cada secuencia de tres bases (triplete) especifica un aminoácido en la proteína.

b. El RNA mensajero lleva las instrucciones para la síntesis de proteínas desde el DNA (gen) a los ribosomas. El RNA de transferencia transporta los aminoácidos a los ribosomas. El RNA ribosómico forma parte de la estructura de los ribosomas y ayuda a coordinar el proceso de construcción de las proteínas.

PARTE II: TEJIDOS DEL CUERPO
(págs. 88-101)

1. El epitelio es el tejido glandular y de recubrimiento. Entre sus funciones se incluyen la protección, la absorción y la secreción. Los epitelios reciben su nombre dependiendo de la disposición (simple, estratificada) y la forma de la célula (escamosa, cuboidal, columnar).

2. El tejido conectivo es el tejido de soporte, protección y unión. Se caracteriza por la presencia de una matriz extracelular no viva (sustancia de base más fibras) producida y secretada por las células; varía en cantidad y consistencia. Grasas, ligamentos y tendones, huesos y cartílago son todos ejemplos de tejido conectivo o de estructuras de este tipo de tejido.

   WEB Actividad: Chapter 3, Identifying Connective Tissue.

3. El tejido muscular está especializado en la contracción, lo cual causa movimiento. Hay tres tipos de tejido muscular: el esquelético (pegado al esqueleto), el cardiaco (que forma el corazón) y el liso (en las paredes de órganos huecos).

4. El tejido nervioso está compuesto por células de soporte y por células irritables llamadas neuronas, que están altamente especializadas en recibir y transmitir los impulsos nerviosos y las células de soporte. Las neuronas son importantes en el control de los procesos del cuerpo. El tejido nervioso está localizado en las estructuras del sistema nervioso: el cerebro, la médula espinal y los nervios.

5. La reparación de los tejidos (curación de heridas) puede incluir la regeneración, la fibrosis o ambas. En la regeneración, el tejido dañado es sustituido por el mismo tipo de células. En la fibrosis, la herida se repara con un tejido cicatricial. Los epitelios y los tejidos conectivos se regeneran bien. El músculo cardiaco maduro y el tejido nervioso se reparan mediante fibrosis.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE CÉLULAS Y TEJIDOS (págs. 101, 104)

1. El crecimiento mediante la división celular continúa durante la pubertad. Las poblaciones de células expuestas a fricciones (como las del epitelio) sustituyen las células perdidas a lo largo de la vida. El tejido conectivo permanece siendo mitótico y forma tejido de reparación (cicatricial). Con algunas excepciones, el tejido muscular se vuelve amitótico hacia el final de la pubertad y el tejido nervioso se vuelve amitótico poco después del nacimiento. Los tejidos amitóticos se ven gravemente disminuidos si sufren daños.

2. La causa del envejecimiento es desconocida, pero los maltratos químicos y físicos, así como la programación genética, se sugieren como posibles causas.

3. Las neoplasias, tanto las benignas como las cancerosas, representan masas anormales de células en las que los controles normales de la división celular no funcionan. La hiperplasia (aumento de tamaño) de un tejido u órgano puede ocurrir cuando el tejido es fuertemente estimulado o irritado. La atrofia (disminución de tamaño) de un tejido u órgano ocurre cuando el órgano no se estimula de forma normal.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. ¿Cuál de los siguientes esperarías encontrar en o sobre células cuya función principal es la absorción?
   a. Microvellosidades.
   b. Cilios.
   c. Uniones gap.
   d. Vesículas secretoras.

2. Entre los tipos de células adultas que puedes esperar encontrar en las uniones gap se incluyen
   a. músculo esquelético.
   b. hueso.
   c. músculo cardiaco.
   d. músculo liso.

3. ¿Cuáles de las siguientes son funciones posibles de las glucoproteínas en la membrana plasmática?
   a. Determinación de los grupos sanguíneos.
   b. Lugares de unión para las toxinas o las bacterias.
   c. Ayudan a que el espermatozoide se una al óvulo.
   d. Aumentan la eficiencia de la absorción.

4. Una célula con abundantes peroxisomas muy probablemente estaría implicada en
   a. la secreción.
   b. el almacenamiento del glucógeno.
   c. la fabricación de ATP.
   d. el movimiento.
   e. actividades de desintoxicación.

5. Una célula estimulada para aumentar su producción de esteroides tendrá abundantes
   a. ribosomas.
   b. retículo endoplasmático rugoso.
   c. retículo endoplasmático liso.
   d. aparato de Golgi.
   e. vesículas de secreción.

6. Para que ocurra la difusión, debe haber
   a. una membrana selectivamente permeable.
   b. cantidades iguales de soluto.
   c. una diferencia de concentración.

d. algún tipo de sistema de transporte.
e. todo lo anterior.

7. ¿En cuál de los siguientes tipos de tejido podrías esperar encontrar células de cubilete?
   a. Simple cuboidal.
   b. Simple columnar.
   c. Simple escamoso.
   d. Estratificado escamoso.
   e. Transicional.

8. Un epitelio "construido" para aguantar fricciones es
   a. simple escamoso.
   b. estratificado escamoso.
   c. simple cuboidal.
   d. simple columnar.
   e. pseudoestratificado.

9. ¿Qué tipo de tejido conectivo actúa como una esponja absorbiendo el líquido cuando hay un edema?
   a. Areolar conectivo.
   b. Adiposo conectivo.
   c. Denso irregular conectivo.
   d. Reticular conectivo.
   e. Vascular.

10. ¿Qué tipo de tejido conectivo evita que los músculos se separen de los huesos durante la contracción?
    a. Denso conectivo.
    b. Areolar.
    c. Elástico conectivo.
    d. Cartílago hialino.

11. ¿Cuál de los términos siguientes describe al músculo cardiaco?
    a. Estriado.
    b. Discos intercalados.
    c. Multinucleado.
    d. Involuntario.
    e. Ramificado.

12. El cáncer es lo mismo que
    a. todos los tumores.
    b. todas las neoplasias.
    c. todas las neoplasias malignas.
    d. los tumores benignos.
    e. el sida.

13. ¿Cuál de estos procesos implica receptores de membrana específicos?
    a. Fagocitosis.
    b. Endocitosis mediada por receptores.
    c. Exocitosis.
    d. Pinocitosis.

Respuesta breve

14. Define *célula* y *orgánulo*.

15. Aunque las células tienen diferencias que reflejan sus funciones especiales en el cuerpo, ¿qué habilidades funcionales muestran *todas* las células?

16. Describe la función especial del DNA que se encuentra en el núcleo. ¿Qué estructuras nucleares contienen DNA? ¿Ayudan a formar ribosomas?

17. Describe la estructura general y la función de la membrana plasmática.

18. Describe la composición general y la función del citosol y las inclusiones del citoplasma.

19. Nombra los orgánulos celulares y explica la función de cada uno.

20. Define *difusión, ósmosis, difusión simple, filtración, bombeo de soluto, exocitosis, endocitosis, fagocitosis, pinocitosis* y *endocitosis mediada por receptores*.

21. ¿Qué dos características estructurales de las membranas celulares determinan si las sustancias pueden pasar a su través pasivamente? ¿Qué determina si una sustancia puede ser transportada activamente a través de la membrana?

22. Explica el efecto de las siguientes soluciones en las células vivas: hipertónica, hipotónica e isotónica.

23. Describe brevemente el proceso de la replicación del DNA.

24. Define *mitosis*. ¿Por qué es importante la mitosis?

25. ¿Cuál es el papel del huso en la mitosis?

26. ¿Por qué un órgano puede ser dañado de modo permanente si sus células son amitóticas?

27. Describe los papeles relativos del DNA y del RNA en la síntesis de proteínas.

28. Define *tejido*. Haz una lista con los cuatro tipos de tejido principales. ¿Cuál de estos tipos está más distribuido en el cuerpo?

29. Describe las características generales de los tejidos epiteliales. Haz una lista con sus funciones más importantes y da ejemplos de cada uno.

30. ¿Dónde se encuentra el epitelio ciliado y qué papel desempeña?

31. ¿Cuáles son las características estructurales generales de los tejidos conectivos? ¿Cuáles son las funciones de los tejidos conectivos? ¿Cómo se reflejan sus funciones en sus estructuras?

32. Cita un tejido conectivo con (1) una matriz líquida suave y (2) una matriz dura y fuerte.

33. ¿Cuál es la función del tejido muscular?

34. Di dónde se localizaría cada uno de los tres tipos de tejido muscular en el cuerpo. ¿Qué quiere decir la frase "la acción de los músculos lisos es involuntaria?".

35. ¿En qué se diferencia el tejido que se cura por fibrosis del que se cura por regeneración? ¿Cuál es más deseable y por qué?

36. Define *atrofia*.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

37. Ahora te damos dos ejemplos de medicamentos quimioterapéuticos (utilizados para tratar el cáncer) y sus acciones celulares. Explica por qué cada medicamento podría ser fatal para una célula.
    - Vincristina: daña el huso mitótico.
    - Adriamicina: se une al DNA y bloquea la síntesis del RNA mensajero.
38. La hidrocortisona es un medicamento antiinflamatorio que estabiliza las membranas lisosomales. Explica cómo este efecto reduce el daño celular y la inflamación.
39. Juan se ha dañado gravemente la rodilla mientras jugaba al fútbol. Le han dicho que se ha roto un cartílago de la rodilla y que tardará mucho tiempo en recuperarse. ¿Por qué tardará tanto?
40. Tres pacientes de una UVI están siendo examinados por el médico residente. Uno de los pacientes tiene daño cerebral debido a un derrame, otro ha sufrido un ataque al corazón que ha dañado gravemente su músculo cardiaco y el tercero tiene un hígado muy dañado (una glándula) debido a que se le ha aplastado en un accidente de coche. Los tres pacientes están estables y sobrevivirán, pero sólo uno tendrá una recuperación funcional total gracias a la regeneración. ¿Cuál de los tres y por qué?
41. Javier tiene la costumbre nerviosa de morderse el recubrimiento interno de su labio con sus dientes incisivos (delanteros). El labio cada vez ha crecido más y más tras años de irritarlo de forma continuada con esa costumbre. El dentista de Javier se ha dado cuenta de esto y le ha dicho que tiene que examinarse el labio para ver si el engrosamiento del mismo se debe a un tumor. Una biopsia reveló hiperplasia y áreas dispersas de displasia, pero no había evidencia de neoplasia. ¿Qué significan estos términos? ¿Tenía Javier cáncer de boca?

CAPÍTULO 4

La piel y las membranas corporales

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, conocerás las funciones de la piel y del sistema de membranas corporales y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- Las membranas corporales bordean o cubren, protegen y lubrican las superficies corporales.
- Al tratarse de la barrera más externa del organismo, la piel protege contra heridas de muchos tipos.

NUESTROS OBJETIVOS

Clasificación de las membranas corporales (págs. 110-113)

- Indicar las funciones generales de cada tipo de membrana (cutánea, mucosa, serosa y sinovial), así como su ubicación en el cuerpo.
- Comparar la estructura (composición de tejidos) de los principales tipos de membranas.

El sistema integumentario (piel) (págs. 113-127)

- Indicar algunas funciones importantes del sistema integumentario y explicar cómo se realizan.

- Cuando aparezca un modelo o gráfico de la piel, marcar y nombrar las siguientes estructuras cutáneas: epidermis, dermis (capas papilar y reticular), cabellos y folículos capilares, glándulas sebáceas y glándulas sudoríparas.
- Nombrar las distintas capas de la epidermis y describir las características de cada una.
- Describir la distribución y la función de los derivados epidérmicos (glándulas sebáceas, glándulas sudoríparas y cabellos).
- Nombrar los factores que determinan el color de la piel y describir la función de la melanina.
- Diferenciar las quemaduras de primer, segundo y tercer grado.
- Explicar la importancia de la "regla de los nueves".
- Resumir las características del carcinoma de células basales, de células escamosas y del melanoma maligno.

Formación y desarrollo de la piel y las membranas corporales (pág. 127)

- Indicar varios ejemplos del envejecimiento del sistema integumentario.

Las **membranas corporales** cubren las superficies, rodean las cavidades corporales y forman capas protectoras (y a menudo lubricantes) alrededor de los órganos. Se dividen en dos grupos principales: (1) *membranas epiteliales*, que incluyen las membranas cutánea, mucosa y serosa; y (2) *membranas del tejido conectivo*, que son las membranas sinoviales.

La membrana cutánea, que suele denominarse piel o sistema integumentario, será el tema central de este capítulo, pero primero debemos tener en cuenta las demás membranas corporales.

Clasificación de las membranas corporales

Las dos categorías principales de membranas corporales (tejidos epitelial y conectivo) se tienen en cuenta en parte según su composición.

Membranas epiteliales

Las **membranas epiteliales,** también denominadas *membranas de recubrimiento* y *revestimiento,* incluyen la membrana cutánea (piel), las membranas mucosas y las membranas serosas (Figura 4.1). Sin embargo, denominar a estas membranas "epiteliales" no sólo induce a error, sino que es impreciso. Aunque todas ellas *contienen* una capa epitelial, ésta siempre se combina con una capa subyacente de tejido conectivo. De aquí que estas membranas sean realmente simples órganos. Puesto que hablaremos de la piel más adelante, aquí la indicaremos únicamente como una subcategoría de las membranas epiteliales.

Membrana cutánea

La **membrana cutánea** es la piel. Su epidermis superficial se compone de un epitelio escamoso estratificado y queratinizado. La dermis subyacente es tejido conectivo denso (fibroso) en su mayor parte. A diferencia de las demás membranas epiteliales, la membrana cutánea está expuesta al aire y es una membrana *seca*.

Membranas mucosas

Una **membrana mucosa (mucosa)** consta del epitelio (el tipo varía según la zona) restante de una membrana de tejido conectivo suelto denominada *lámina propia*. Este tipo de membrana rodea todas las cavidades corporales que se abren al exterior, como las de los órganos con agujeros de los tractos respiratorio, digestivo, urinario y reproductor (Figura 4.1b). Ten en cuenta que el término *mucosa* sólo hace referencia a la ubicación de las membranas epiteliales, *no* a su composición celular, que varía.

No obstante, la mayoría de las mucosas contienen un epitelio escamoso estratificado (como en la boca y el esófago) o un epitelio columnar simple (como en el resto del tracto digestivo). En todos los casos, éstas son membranas húmedas que están casi continuamente mojadas de secreciones o, en el caso de la mucosa urinaria, de orina.

El epitelio de las mucosas a menudo se adapta a las funciones de absorción o secreción. Aunque muchas mu-

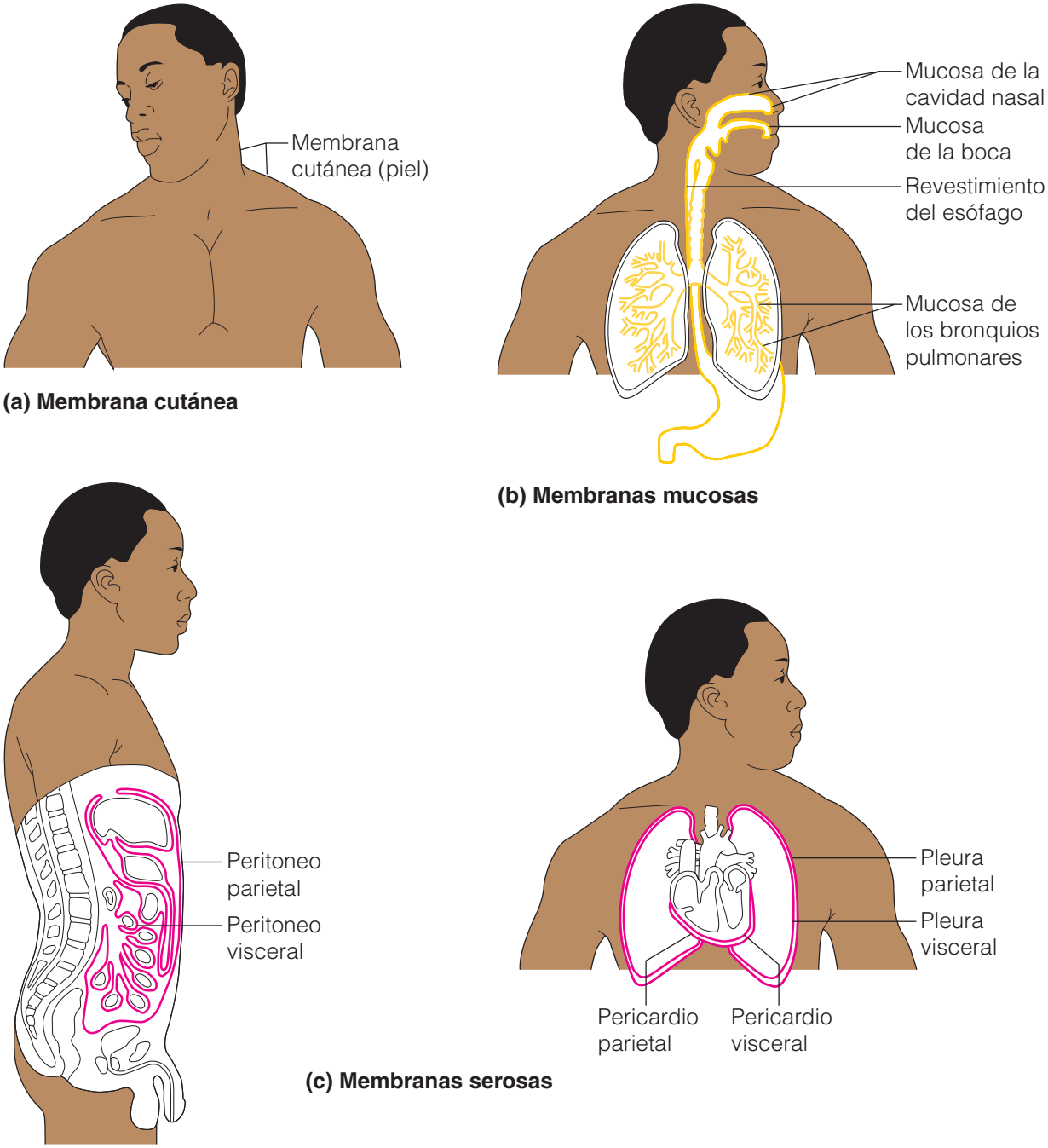


FIGURA 4.1 Clases de membranas epiteliales. (a) Membrana cutánea o piel. **(b)** Las membranas mucosas (color amarillo) rodean las cavidades corporales abiertas al exterior. **(c)** Las membranas serosas (color rojo) rodean las cavidades corporales ventrales cerradas al exterior. **(d)** Si se empuja un globo medio deshinchado con el puño, se ve claramente la relación entre las capas de las membranas serosas parietal y visceral.

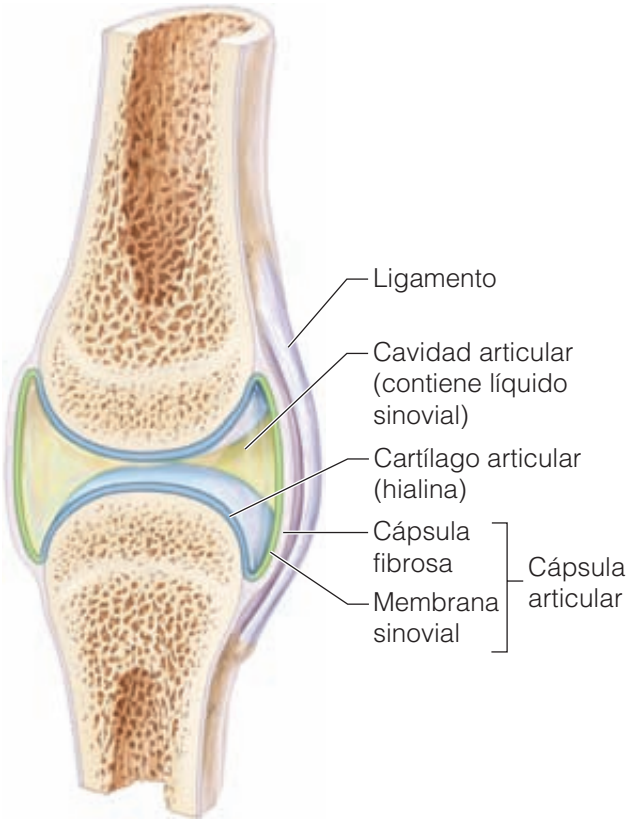


FIGURA 4.2 **Articulación sinovial típica.**

cosas secretan moco; no todas lo hacen. Las mucosas de los tractos respiratorio y digestivo secretan grandes cantidades de moco protector y lubricante (las del tracto urinario no lo secretan).

Membranas serosas

Una **membrana serosa (serosa)** está compuesta por una capa de epitelio escamoso simple restante de una capa fina de tejido conectivo areolar. A diferencia de las membranas mucosas, que rodean las cavidades corporales abiertas, las membranas serosas rodean las cavidades corporales cerradas al exterior (excepto la cavidad corporal dorsal y las cavidades articulares).

Las membranas serosas se encuentran de dos en dos (Figura 4.1c). La *capa parietal* rodea una parte específica de la pared de la cavidad corporal ventral y se pliega para formar la *capa visceral,* que cubre el exterior de los órganos de esa cavidad.

Puedes ver la relación existente entre las capas serosas hundiendo el puño en un globo medio deshinchado lleno con un poco de aire o agua (Figura 4.1d). La parte del globo pegada al puño puede compararse con la serosa visceral pegada a la superficie externa del órgano. La pared externa del globo representa la serosa parietal que rodea las paredes de la cavidad y que, a diferencia del globo, nunca se expone al exterior, pues siempre está unida a la pared de la cavidad. En el organismo, las capas serosas no están separadas por aire sino por una mínima cantidad de líquido transparente y poco espeso, denominado **líquido seroso,** que secretan ambas membranas. Aunque hay un espacio potencial entre las dos membranas, tienden a encontrarse muy cerca la una de la otra.

El líquido seroso permite que los órganos se deslicen fácilmente por las paredes de la cavidad y entre sí sin fricción alguna a medida que desempeñan sus funciones rutinarias. Esto resulta de vital importancia en el caso de los órganos móviles como un corazón que late y un estómago revuelto.

Los nombres específicos de las membranas serosas dependen de su ubicación. La serosa que rodea la cavidad abdominal y cubre sus órganos es el **peritoneo.** En el tórax, las membranas serosas aíslan los pulmones y el corazón. La membrana que rodea los pulmones (Figura 4.1c) es la **pleura;** la que rodea el corazón se denomina **pericardio.**

Membranas del tejido conectivo

Las **membranas sinoviales** constan de tejido conectivo areolar blando y no contienen células epiteliales. Estas membranas rodean las cápsulas fibrosas que circundan las articulaciones (Figura 4.2), donde proporcionan una superficie suave y secretan un líquido lubricante. También rodean pequeños sacos de tejido conectivo denominados *bolsas* y las *vainas de los tendones* de forma tubular. Ambas estructuras amortiguan los órganos que realizan movimientos opuestos durante la actividad muscular, como el movimiento de un tendón por una superficie ósea.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿En qué se diferencian las ubicaciones de las membranas serosa y mucosa en el organismo?
2. Imagina que un escalpelo penetra en el pulmón izquierdo hasta el corazón. Nombra las seis capas de membrana serosa que atraviesa la cuchilla a su paso desde la superficie corporal hasta el corazón.
3. ¿Dónde puedes encontrar una membrana sinovial?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

MÁS DE CERCA

TATUAJES

Los tatuajes se hacen con una aguja que deposita pigmento en la dermis. El tatuaje es una antigua práctica que se cree que se originó hace unos 10.000 años. Actualmente, los tatuajes son símbolos de la pertenencia a clubes para algunos hombres (bandas callejeras, ejército, fraternidades); por el contrario, otras personas los ven como símbolos de individualidad. En los últimos años, se han tatuado más mujeres como medio de expresión y por estética; el delineador de ojos permanente y la línea de los labios tatuada representan actualmente en torno a unos 125.000 tatuajes anuales.

Pero, ¿qué sucederá si los tatuajes se pasan de moda o si el pigmento se estropea? La eliminación de tatuajes ha sido y continúa siendo dolorosa (tanto física como económicamente). Hasta hace poco, cuando se tenía uno, era para siempre, porque los intentos de eliminarlo (dermoabrasión, criocirugía [congelación] o aplicación de sustancias químicas cáusticas) dejaban desagradables cicatrices. Gracias al uso de las nuevas tecnologías láser, los dermatólogos no tienen ningún problema en destruir los pigmentos negros y azules de los tatuajes aplicados hace una generación, pero los tatuajes más modernos y multicolores suponen un problema mayor. La multitud de pigmentos de los tatuajes actuales requiere el uso de varios láseres distintos en siete o nueve sesiones espaciadas en un mes, cada una de las cuales cuesta entre 75 y 150 dólares. El dolor es más o menos igual que al realizar el primer tatuaje. No obstante, la eliminación de tatuajes en Estados Unidos se está disparando.

Los tatuajes presentan otros riesgos. La FDA tiene algunas normas relativas a la composición de los pigmentos para tatuajes, pero su seguridad no está firmemente establecida. De hecho, los estudios de las tintas recopiladas en los centros de tatuaje han revelado que contienen agentes cancerígenos que podrían activarse durante la eliminación del tatuaje. Las leyes reglamentarias varían mucho (de ninguna restricción a la prohibición total) en cada estado. Aun así, en cada caso, se utilizan agujas y se producen hemorragias, y la competencia de los tatuadores varía significativamente. Si el tatuador no se ajusta a los estrictos procedimientos de esterilización, el tatuaje puede propagar la infección. El riesgo de infectarse con hepatitis C (una infección hepática crónica) es 15 veces mayor en las personas tatuadas. Así que si estás pensando en hacerte un tatuaje, no te precipites y sopesa todas las alternativas.

"La eliminación de tatuajes en EE.UU. se está disparando."

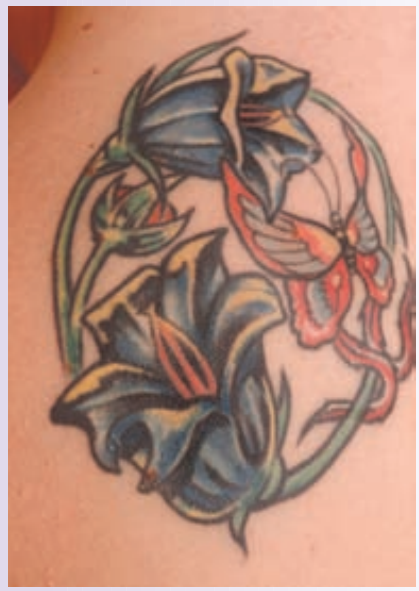


TABLA 4.1 Funciones del sistema integumentario

Funciones	Cómo las desempeña
Protege los tejidos más profundos frente a	
• Daños mecánicos (golpes)	La barrera física contiene queratina, que endurece las células, células grasas que amortiguan los golpes y receptores de presión, que alertan al sistema nervioso ante posibles daños.
• Daños químicos (ácidos y bases)	Dispone de células queratinizadas prácticamente impermeables; contiene receptores del dolor, que alertan al sistema nervioso ante posibles daños.
• Daños bacterianos	Dispone de una superficie irrompible y de un "manto de ácido" (las secreciones cutáneas son ácidas y, por tanto, inhiben las bacterias). Los fagocitos ingieren las sustancias extrañas y los patógenos, de modo que evitan que éstos penetren en los tejidos corporales más profundos.
• Radiación ultravioleta (efectos dañinos de la luz solar)	La melanina producida por los melanocitos protege contra los daños de los rayos UV.
• Daños térmicos (frío o calor)	Contiene receptores del calor, frío y dolor.
• Desecación (secado)	Contiene un glucolípido impermeabilizante y queratina.
Ayuda en la pérdida y retención del calor corporal (controladas por el sistema nervioso)	*Pérdida de calor:* activando las glándulas sudoríparas y permitiendo que la sangre fluya por los lechos capilares de la piel, de modo que el calor pueda irradiarse desde la superficie de la piel. *Retención de calor:* no permitiendo que la sangre fluya por los lechos capilares de la piel.
Ayuda en la excreción de urea y ácido úrico	Contenida en la transpiración producida por las glándulas sudoríparas.
Sintetiza la vitamina D	Moléculas de colesterol modificadas en la piel que se convierten en vitamina D mediante la luz solar.

El sistema integumentario (piel)

¿Te seduciría un anuncio publicitario de un abrigo impermeable, elástico, lavable e inarrugable, que repara de forma invisible pequeños cortes, rasguños y quemaduras, y con una garantía imperecedera si se cuida adecuadamente?

Parece demasiado bueno para ser verdad, pero tú ya tienes un abrigo así (la *membrana cutánea*, o **piel**). La piel y sus derivados (las glándulas sudoríparas y las glándulas aceitosas, el pelo y las uñas) desempeñan funciones muy diversas, la mayoría de las cuales consisten en funciones de protección.

Al conjunto de estos órganos se les denomina **sistema integumentario.**

Funciones del sistema integumentario

También denominada **integumento,** que no significa otra cosa que "revestimiento", la piel es mucho más que un revestimiento corporal externo. Es absolutamente esencial porque mantiene el agua y otras valiosas moléculas del cuerpo. También mantiene fuera el agua (entre otras cosas). (Por este motivo, podemos nadar durante horas sin inundarnos por dentro). En cuanto a su estructura, la piel es una auténtica maravilla. Es flexible pero resistente, lo que le permite aguantar ataques constantes de los agentes externos. Sin la piel, caeríamos presos de las bacterias y pereceríamos por pérdidas de agua y calor con rapidez.

El sistema integumentario tiene muchas funciones; la mayoría, aunque no todas, son de protección (Tabla 4.1).

Aísla y amortigua los órganos corporales más profundos y protege todo el organismo frente a daños mecánicos (golpes y cortes), daños químicos (como los de los ácidos y las bases), daños térmicos (frío y calor), radiación ultravioleta (de la luz solar) y bacterias. La capa principal de la piel está llena de **queratina** y está *cornificada,* o endurecida, para ayudar a evitar las pérdidas de agua de la superficie corporal.

La sofisticada red capilar de la piel y las glándulas sudoríparas (ambas controladas por el sistema nervioso) desempeñan una importante función en la regulación de la pérdida de calor de la superficie corporal. La piel actúa como un minisistema excretor; la urea, las sales y el agua se pierden con el sudor. La piel también fabrica varias proteínas importantes para la inmunidad y sintetiza vitamina D (las moléculas de colesterol modificadas que se encuentran en la piel se convierten en vitamina D mediante la luz solar). Finalmente, los *receptores sensoriales cutáneos,* que en realidad forman parte del sistema nervioso, se encuentran en la piel. Estos diminutos sensores, entre los que se incluyen los receptores del tacto, la presión, la temperatura y el dolor, proporcionan una gran cantidad de información sobre nuestro entorno externo. Nos alertan sobre los golpes y la presencia de factores que dañan los tejidos al igual que nos hacen sentir el viento en el pelo y las caricias.

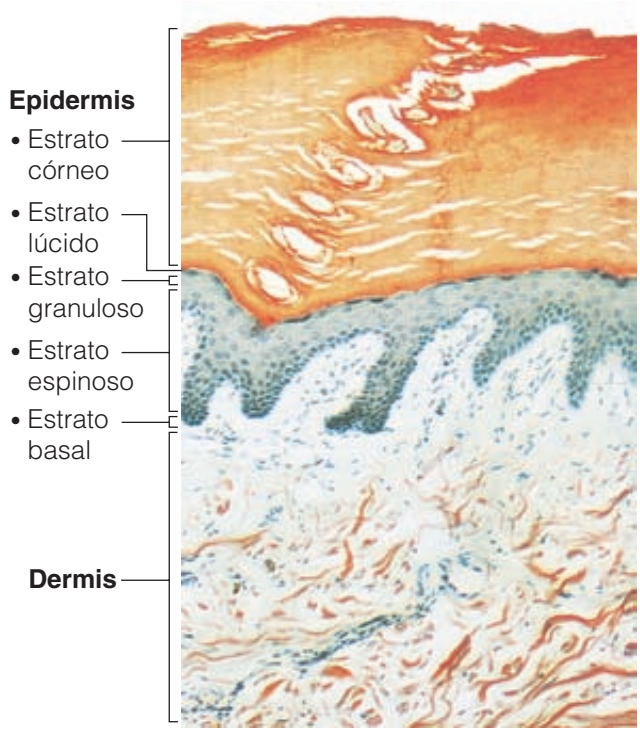


FIGURA 4.3 La epidermis de la piel gruesa (150X). Extraída de *Gray's Anatomy,* Henry Gray. Churchill Livingstone, UK.

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. Explica la relación entre las palabras piel, membrana cutánea, integumento y sistema integumentario.
5. ¿Cuáles son las tres funciones principales del sistema integumentario?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Estructura de la piel

La piel se compone de dos tipos de tejido. La **epidermis** externa está compuesta de epitelio escamoso estratificado que es capaz de *queratinizarse*, o de endurecerse, y de volverse más resistente. La **dermis** subyacente está hecha de tejido conectivo denso en su mayor parte. La epidermis y la dermis están firmemente conectadas. No obstante, una quemadura o fricción (como el roce de un zapato que nos queda pequeño) puede hacer que se separen, lo que provoca que el líquido intersticial se acumule en la cavidad existente entre las capas y produzca una *ampolla*.

Por debajo de la dermis se encuentra el **tejido subcutáneo,** o **hipodermis,** que es tejido adiposo principalmente. No se considera parte de la piel, sino que fija ésta a los órganos subyacentes. El tejido subcutáneo actúa como un amortiguador de golpes y aísla los tejidos más profundos de los cambios de temperatura extremos que se producen fuera del organismo. También es responsable de las curvas que son más comunes en la anatomía femenina que en la masculina. A continuación, se describen las principales zonas y estructuras de la piel. A medida que vayas leyendo, ubica las zonas o estructuras descritas en las Figuras 4.3 y 4.4.

Epidermis

La epidermis consta de hasta cinco capas o *estratos* ("capas del lecho"). De dentro a fuera, son *estrato basal, espinoso, granuloso, lúcido* y *córneo* (véase la Figura 4.3).

Al igual que todos los demás tejidos epiteliales, la epidermis es *avascular,* es decir, carece de suministro sanguíneo propio. Esto explica por qué un hombre puede afeitarse diariamente y no sangrar incluso aunque corte muchas capas celulares cada vez que se afeita.

P *¿Qué componente de la hipodermis la convierte en un buen aislante y amortiguador de golpes?*

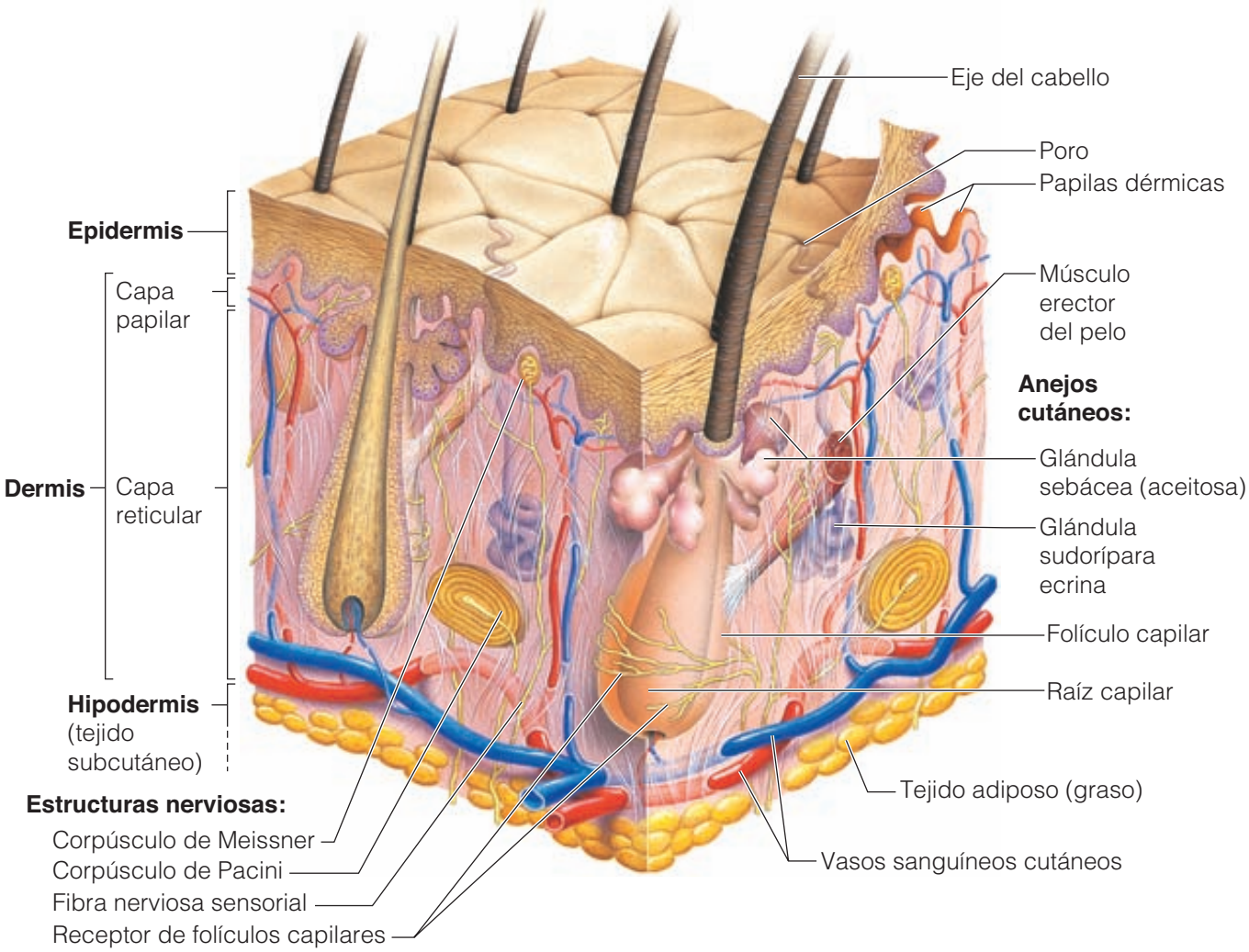


FIGURA 4.4 **Estructura de la piel.** Vista tridimensional de la piel y del tejido subcutáneo subyacente. (Los corpúsculos de Meissner son poco comunes en la piel vellosa, pero se incluyen aquí para mostrar todo el grupo de receptores cutáneos.)

La mayoría de las células de la epidermis son **queratinocitos** (células de queratina), que producen queratina, la proteína fibrosa que hace de la epidermis una resistente capa protectora. La capa celular más profunda de la epidermis, el **estrato basal,** se encuentra cerca de la dermis y está conectada a ésta a lo largo de un borde ondulado que se parece a una cartulina ondulada. Esta capa basal contiene células epidérmicas que reciben la alimentación más adecuada mediante la difusión de nutrientes de la dermis. Estas células están dividiéndose constantemente y cada día se producen millones de células nuevas; de aquí su nombre alternativo, *estrato germinativo* ("capa germinativa"). Las células hijas se empujan hacia arriba, lejos de la fuente de nutrición, para pasar a formar parte de las capas epidérmicas más cercanas a la superficie de la piel. A medida que se alejan de la dermis y pasan a formar parte de las capas más su-

R *El tejido adiposo.*

perficiales, el **estrato espinoso** y después el **estrato granuloso,** se vuelven más finas y se llenan cada vez más de queratina (queratinizadas). Finalmente mueren, de modo que forman el terso **estrato lúcido.** Esta última capa epidérmica no se encuentra en todas las zonas cutáneas; sólo se produce donde la piel carece de vello y es más gruesa, es decir, en las palmas de las manos y las plantas de los pies. La combinación de la acumulación de queratina en ellas, que secreta un glucolípido hidrorrepelente en el espacio extracelular, y su distancia cada vez mayor del suministro sanguíneo (en la dermis) condenan con eficacia las células del estrato lúcido y las células epidérmicas más superficiales porque éstas son incapaces de obtener los nutrientes y el oxígeno adecuados.

La capa más externa, el **estrato córneo,** tiene un grosor de entre 20 y 30 capas celulares y representa unos tres cuartos del grosor epidérmico. Los remanentes celulares muertos a modo de placa, completamente llenos de queratina, se denominan *cornificados* o *células callosas* (*cornu* = cuerno). El dicho común "La belleza es sólo superficial" es especialmente interesante teniendo en cuenta que casi todo lo que vemos al mirar a alguien está muerto. La queratina es una proteína excepcionalmente resistente. Su abundancia en el estrato córneo permite que la capa proporcione un "abrigo" duradero para el cuerpo, que protege las células más profundas del extorno externo hostil (aire) y de las pérdidas de agua, y ayuda al cuerpo a resistir las agresiones biológicas, químicas y físicas. El estrato córneo se frota y se descama lenta y continuamente como la familiar *caspa*. Una persona media pierde unos 18 kg de estas escamas durante toda su vida, lo que proporciona una fuente alimentaria para los ácaros que viven en los hogares y en las sábanas. Esta capa se sustituye por células producidas por la división de las células más profundas del estrato basal. De hecho, disponemos de una epidermis totalmente "nueva" cada 25-45 días.

La **melanina,** un pigmento que varía entre los colores amarillo, marrón y negro, se produce mediante células especiales con forma de araña denominadas **melanocitos,** que se encuentran principalmente en el estrato basal. Cuando la piel se expone a la luz solar, que estimula la producción del pigmento melanina por parte de los melanocitos, se produce el bronceado. A medida que los melanocitos producen melanina, ésta se acumula en ellos en los gránulos fijados a la membrana denominados *melanosomas*. A continuación, estos gránulos se desplazan hasta los extremos de los finos brazos de los melanocitos, donde son absorbidos por los queratinocitos más cercanos. Dentro de los queratinocitos, la melanina forma un pigmento de revestimiento en la parte superficial, o expuesta al sol, de sus núcleos que protege su material genético (DNA) de los efectos dañinos de la radiación ultravioleta de la luz solar. Las *pecas* y los *lunares* aparecen donde la melanina se concentra en un punto.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

A pesar de los efectos protectores de la melanina, una excesiva exposición solar acaba produciendo daños en la piel. Hace que las fibras elásticas se agolpen, lo que produce que la piel se curta. También disminuye la acción del sistema inmunitario. Esto puede ayudar a explicar por qué muchas personas infectadas con el ***herpes simplex,*** o *llaga del resfriado,* tienen más tendencia a presentar una erupción después de tomar el sol. La sobreexposición solar también puede alterar el DNA de las células cutáneas, lo que produce cáncer de piel. Las personas de raza negra no suelen padecer cáncer de piel, lo que revela la impresionante eficacia de la melanina como bronceador natural. ▲

Dermis

La dermis es nuestra parte "oculta". Se trata de una envoltura fuerte y elástica que ayuda a mantener el cuerpo unido. Al adquirir productos de piel (bolsos, cinturones, zapatos y cosas por el estilo), estamos comprando la dermis tratada de animales.

El tejido conectivo denso (fibroso) que forma la dermis consta de dos zonas principales: la *papilar* y la *reticular*. Al igual que la epidermis, la dermis varía en grosor. Por ejemplo, es especialmente gruesa en las palmas de las manos y en las plantas de los pies, pero es bastante fina en los párpados.

La **capa papilar** es la zona dérmica superior. Es irregular y cuenta con proyecciones de fijación desde la superficie superior, denominadas **papilas dérmicas** (*papill* = pezón), que cortan la epidermis por arriba. Muchas de las papilas dérmicas contienen bucles capilares, que aportan nutrientes a la epidermis. Otras alojan receptores del dolor *(terminaciones nerviosas libres)* y entran en contacto con los receptores denominados *corpúsculos de Meissner*. En las palmas de las manos y las plantas de los pies, las papilas se organizan en modelos definitivos que forman puentes con forma de lazo y espiral en la superficie epidérmica, lo cual aumenta la fricción y mejora la capacidad absorbente de los dedos y los pies. Los modelos papilares están determinados genéticamente. Los puentes de los dedos están llenos de poros sudoríparos y dejan películas

FIGURA 4.5 **Fotografía de una úlcera por presión profunda (fase III).**

de identificación únicas de sudor denominadas *huellas dactilares* en casi cualquier cosa que tocan.

La **capa reticular** es la capa cutánea más profunda. Contiene vasos sanguíneos, glándulas sudoríparas y oleosas y profundos receptores de presión denominados *corpúsculos de Pacini* (véase la Figura 4.4). Los fagocitos de esta zona (y, en realidad, de toda la dermis) actúan para evitar que las bacterias que hayan entrado a través de la epidermis penetren más en el organismo.

Tanto el *colágeno* como las *fibras elásticas* se encuentran en toda la dermis. Las fibras de colágeno son responsables de la resistencia de la dermis; también atraen y fijan el agua y, así, ayudan a mantener la piel hidratada. Las fibras elásticas proporcionan a la piel su elasticidad durante la juventud. A medida que envejecemos, el número de fibras de colágeno y fibras elásticas disminuye, y el tejido subcutáneo pierde grasa. En consecuencia, la piel pierde su elasticidad y comienza a arrugarse y ponerse flácida.

La dermis recibe un abundante suministro de los vasos sanguíneos, que desempeñan una importante función en el mantenimiento de la temperatura corporal (homeostasis). Cuando la temperatura corporal es elevada, los capilares de la dermis se dilatan, o hinchan, con la sangre caliente, y la piel se enrojece y se calienta. Esto permite que se irradie el calor corporal de la superficie de la piel. Si el entorno es frío y debe conservarse el calor corporal, la sangre atraviesa los capilares dérmicos temporalmente, lo que permite que la temperatura corporal interna permanezca elevada.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cualquier restricción del suministro sanguíneo normal a la piel produce la muerte celular y, si es intenso o se prolonga lo suficiente, úlceras cutáneas. Las **úlceras por presión** (escaras) se producen en los pacientes encamados que no pueden girarse con regularidad o a los que se les arrastra por la cama o se les empuja contra ésta repetidamente. El peso del cuerpo presiona la piel, especialmente en las proyecciones óseas. Puesto que esta presión restringe el suministro sanguíneo, la piel se vuelve pálida o se blanquea en los puntos de presión. Al principio, la piel se enrojece cuando se libera la presión, pero si la posición no es correcta, las células empiezan a morir, y aparecen pequeñas grietas o roturas en los puntos de compresión de la piel. Los daños permanentes en los vasos sanguíneos superficiales y el tejido acaba produciendo la degeneración y ulceración de la piel (Figura 4.5). ▲

La dermis también cuenta con un rico suministro nervioso. Como hemos mencionado anteriormente, muchas de las terminaciones nerviosas disponen de corpúsculos de receptores especializados que envían mensajes al sistema nervioso central para su interpretación cuando reciben el estímulo de determinados factores ambientales (presión, temperatura, etc.). Dichos receptores cutáneos se explican con más detalle en el Capítulo 7.

El color de la piel

Hay tres pigmentos que contribuyen al color de la piel:

1. La cantidad y el tipo (amarillo, marrón rojizo o negro) de *melanina* de la epidermis.
2. La cantidad de *caroteno* depositada en el estrato córneo y el tejido subcutáneo (el caroteno es un pigmento amarillo anaranjado muy abundante en las zanahorias y otras verduras de color naranja, amarillo oscuro o verde oscuro). La piel tiende a adquirir un matiz amarillo anaranjado cuando la persona ingiere una gran cantidad de alimentos ricos en caroteno.
3. La cantidad de *hemoglobina rica en oxígeno* (pigmento de los glóbulos rojos) en los vasos sanguíneos de la dermis.

Las personas que producen mucha melanina tienen la piel de un tono marrón. En las personas con la piel clara (caucasianas), que tienen menos melanina, el color carmesí de la hemoglobina rica en oxígeno del suministro sanguíneo de la dermis resplandece a través de las capas celulares transparentes superiores y proporciona a la piel un brillo rosáceo.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando la hemoglobina no está bien oxigenada, tanto la sangre como la piel de los caucasianos se tornan de

color azul, una enfermedad denominada **cianosis.** La cianosis es común durante el fallo cardiaco y los trastornos respiratorios intensos. En las personas negras, la piel no se vuelve cianótica en las mismas situaciones debido a los efectos de enmascaramiento de la melanina, pero la cianosis es aparente en sus membranas mucosas y en los lechos ungueales. ▲

Las emociones también influyen en el color de la piel, y muchas alteraciones del color de la piel indican determinadas enfermedades:

- *Rojez o eritema.* La piel enrojecida puede indicar vergüenza (ruborizarse), fiebre, hipertensión, inflamación o alergia.
- *Palidez.* En determinados tipos de estrés emocional (miedo, enfado, etc.), algunas personas palidecen. La piel pálida también puede indicar anemia, hipotensión o mala circulación en la zona.
- *Icteria o tono amarillo.* Un tono de piel amarillo anormal suele indicar un trastorno hepático en que el exceso de pigmentos biliares es absorbido en la sangre, circula por el cuerpo y se deposita en los tejidos corporales.
- *Moratones o marcas negras y azules.* Los moratones revelan lugares donde la sangre se ha escapado del flujo circulatorio y se ha coagulado en los espacios del tejido. Tales masas de sangre coagulada se denominan *hematomas.* Una tendencia inusual a la aparición de moratones puede indicar una carencia de vitamina C en la dieta o hemofilia (enfermedad del hemofílico).

¿LO HAS ENTENDIDO?

6. ¿Qué tipo de células son más abundantes en la epidermis?
7. ¿Qué capa de la epidermis produce células epidérmicas nuevas?
8. La pérdida excesiva de escamas de la capa superficial de la piel del cuero cabelludo provoca caspa. ¿Cómo se llama esa capa cutánea?
9. ¿Qué pigmentos determinan el color de la piel?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Anejos cutáneos

Los **anejos cutáneos** incluyen glándulas cutáneas, pelo y folículos capilares y uñas (véase la Figura 4.4). Cada uno de estos apéndices surge de la epidermis y desempeña una función única en el mantenimiento de la homeostasis corporal.

Glándulas cutáneas

Las glándulas cutáneas son todas las **glándulas exocrinas** que liberan sus secreciones a la superficie cutánea mediante conductos. Se dividen en dos grupos: *glándulas sebáceas* y *glándulas sudoríparas.* A medida que las células del estrato basal forman estas glándulas, éstas se introducen en las zonas más profundas de la piel y finalmente residen casi por completo en la dermis.

Glándulas sebáceas (oleosas) Las **glándulas sebáceas,** o glándulas oleosas, se encuentran por toda la piel, excepto en las palmas de las manos y las plantas de los pies. Sus conductos suelen vaciarse en un folículo capilar (véanse las Figuras 4.4 y 4.6), pero algunas se abren directamente a la superficie cutánea.

El producto de las glándulas sebáceas, el **sebo** (*seb* = grasa), es una mezcla de sustancias aceitosas y células fragmentadas. El sebo es un lubricante que mantiene la piel suave y tersa y evita que el pelo se quiebre. El sebo también contiene sustancias químicas que *matan* las bacterias, de modo que resulta importante para evitar que las bacterias presentes en la superficie cutánea invadan las zonas más profundas de la piel. Las glándulas sebáceas se vuelven muy activas cuando las hormonas sexuales masculinas se producen en cantidades mayores (en ambos sexos) durante la adolescencia. Así, la piel tiende a volverse más aceitosa durante esta etapa de la vida.

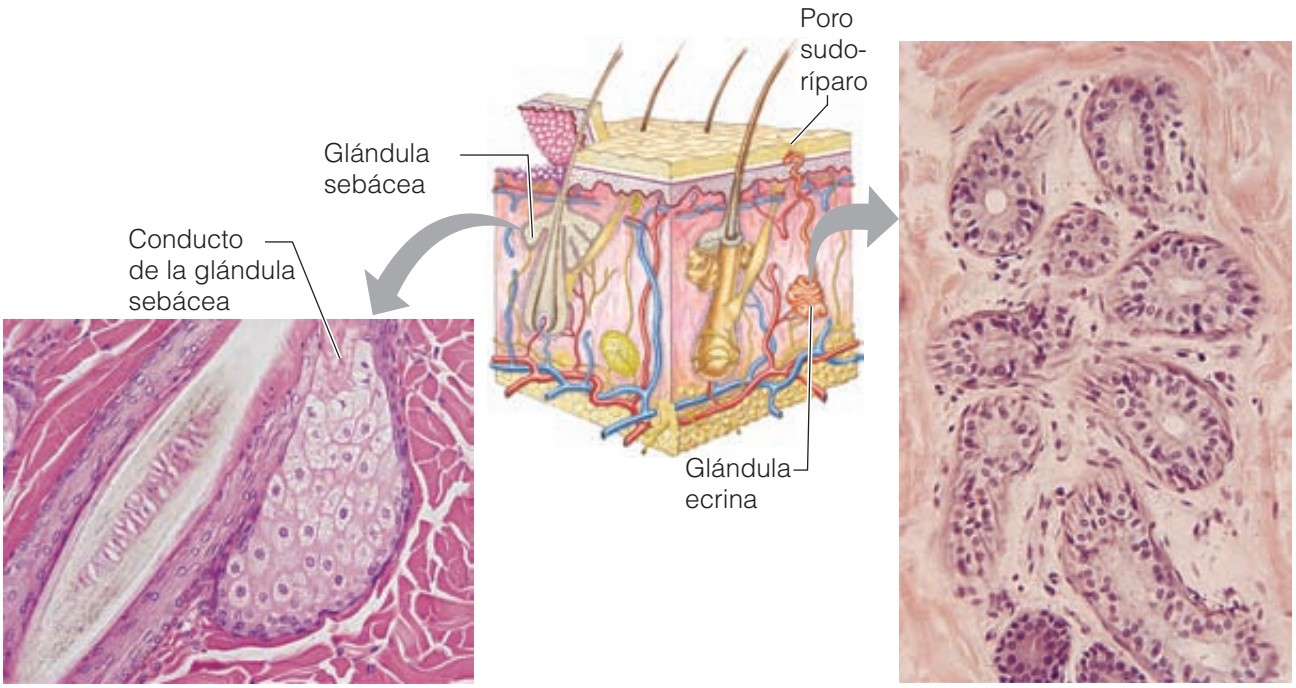
DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si el conducto de una glándula sebácea queda bloqueado por el sebo, aparece un **punto blanco** en la superficie cutánea. Si el material acumulado se oxida y se seca, se oscurece, de modo que forma un **punto negro.** El **acné** es una infección activa de las glándulas sebáceas acompañado de granos en la piel. Puede ser de intensidad media o alta, lo que produce cicatrices permanentes. La **seborrea** ("dermatitis seborreica"), conocida como "costra láctea" en los bebés, se produce por la sobreactividad de las glándulas sebáceas. Comienza en el cuero cabelludo como manchas rosáceas, lesiones en relieve que van formando gradualmente una costra que cambia de color amarillo a marrón y que desprende escaras aceitosas. Suele resultar útil lavar la zona cuidadosamente para eliminar el exceso de aceite. ▲

Glándulas sudoríparas Las **glándulas sudoríparas** están muy repartidas por la piel. Su número varía; más de 2,5 millones por persona. Hay dos tipos de glándulas sudoríparas, *ecrinas* y *apocrinas.*

Las **glándulas ecrinas** son mucho más numerosas y se encuentran por todo el cuerpo. Estas glándulas pro-

P *¿Cuál de estos tipos de glándulas hace que el pelo esté lacio y aceitoso?*



(a) Glándula sebácea seccionada (160x) **(b) Glándula ecrina seccionada** (250x)

FIGURA 4.6 Microfotografía de las glándulas cutáneas.

ducen **sudor,** una secreción transparente formada principalmente por agua y algunas sales (cloruro sódico), vitamina C, restos de desperdicios metabólicos (amoniaco, urea, ácido úrico), y ácido láctico (una sustancia química que se acumula durante la actividad muscular vigorosa). El sudor es ácido (pH de 4 a 6), una característica que inhibe el crecimiento de las bacterias, que siempre están presentes en la superficie cutánea. Normalmente, el sudor alcanza la superficie cutánea a través de un conducto que sale al exterior como un *poro* con forma de embudo (véanse las Figuras 4.4 y 4.6). Sin embargo, ten en cuenta que los "poros" faciales, que suelen nombrarse al hablar de la complexión, no son estos poros sudoríparos, sino las salidas externas de estos folículos capilares.

Las glándulas sudoríparas ecrinas son una parte importante y muy eficaz del equipo de regulación del calor corporal. Están llenas de terminaciones nerviosas que hacen que secreten sudor cuando la temperatura externa o la temperatura corporal son elevadas.

R *Las glándulas sebáceas, que producen secreciones aceitosas.*

Cuando el sudor se evapora de la superficie cutánea, lleva consigo grandes cantidades de calor corporal. En un día caluroso, es posible perder hasta siete litros de agua corporal de esta forma. Las funciones de regulación térmica del organismo son importantes; si la temperatura interna cambia más de unos cuantos grados con respecto a los 37 ºC habituales, se producen cambios potencialmente mortales en el organismo. La regulación de la temperatura corporal se explica con más detalle en el Capítulo 14.

Las **glándulas apocrinas** están confinadas en gran medida a la zona de las axilas y a la zona genital del cuerpo. Suelen ser mayores que las glándulas ecrinas, y sus conductos se vacían en los folículos capilares. Su secreción contiene ácidos grasos y proteínas, así como todas las sustancias presentes en la secreción ecrina; por tanto, puede tener un color lechoso o amarillento. La secreción es inodora, pero cuando las bacterias que viven en la piel utilizan sus proteínas y grasas como fuente de nutrientes para su crecimiento, adquiere un desagradable olor a almizcle.

Las glándulas apocrinas empiezan a funcionar durante la pubertad bajo la influencia de los *andrógenos*

(hormonas sexuales masculinas). Aunque su secreción se produce casi continuamente, las glándulas apocrinas desempeñan una función ínfima en la regulación térmica. Aún se desconoce su función precisa, pero las activan las fibras nerviosas ante las sensaciones dolorosas y estresantes y durante las caricias sexuales.

Pelo y folículos capilares

Hay millones de **pelos** esparcidos por todo el cuerpo. Sin embargo, en vez de tener unas cuantas funciones protectoras poco significativas, como proteger la cabeza de los golpes, proteger los ojos (mediante las pestañas) y ayudar a mantener las partículas extrañas fuera del tracto respiratorio (mediante el vello de la nariz), el pelo corporal ha perdido gran parte de su utilidad. El pelo servía a los primeros humanos (y aún hoy día sirve a los animales peludos) de aislante durante las épocas frías, pero actualmente disponemos de otros medios para mantener el calor.

Pelos Un pelo, producido por un *folículo capilar,* es una estructura epitelial flexible. Esa parte del pelo encerrado en el folículo se denomina *raíz.* La parte que se proyecta desde la superficie del cuero cabelludo o de la piel se denomina *eje* (Figura 4.7). Un pelo está formado por la división de las células epiteliales del estrato basal bien alimentado en la **matriz** (zona de crecimiento) del bulbo capilar del extremo inferior del folículo. A medida que las células hijas son expulsadas de la zona de crecimiento, se queratinizan y mueren. Así, la mayor parte del eje capilar, al igual que la mayor parte de la epidermis, es materia muerta y casi todo proteínas.

Cada pelo consta de un núcleo central denominado *médula* rodeado por una capa de *corteza* abultada. Por su parte, la corteza está encerrada por una *cutícula* más externa formada por una sola capa de células que se superponen entre sí como las tejas de un tejado. Esta organización celular de la cutícula ayuda a mantener a los pelos apartados y evita que se enreden (véanse las Figuras 4.7b y 4.8). La cutícula es la zona más queratinizada; proporciona fortaleza y ayuda a mantener las capas capilares internas muy compactadas. Puesto que es más propensa a sufrir abrasiones, la cutícula tiende a desgastarse por la punta del eje, lo que hace que las fibrillas de queratina de las zonas capilares internas se ricen, un fenómeno denominado "puntas abiertas". El pigmento capilar lo componen los melanocitos del bulbo capilar, y se combinan cantidades variables de distintos tipos de melanina (amarilla, rojiza, marrón y negra) para producir todas las *variedades* de color capilar, desde el rubio claro hasta el negro pez.

Los pelos tienen distintos tamaños y formas. Son cortos y duros en las cejas, largos y flexibles en la ca-

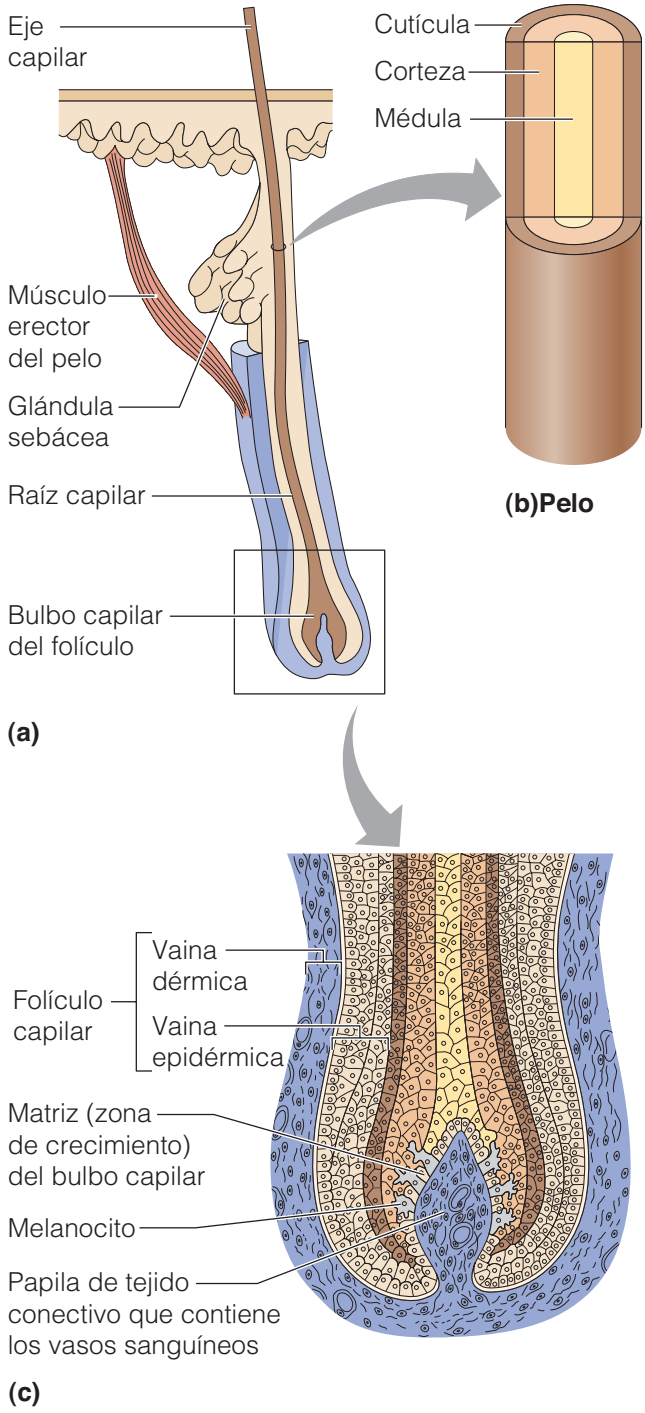


FIGURA 4.7 Estructura de un pelo y del folículo capilar. (a) Sección longitudinal de un pelo en su folículo. **(b)** Sección longitudinal aumentada de un pelo. **(c)** Vista longitudinal ampliada de un bulbo capilar aumentado en el folículo que muestra la matriz, la zona de división activa de las células epiteliales que produce el pelo.

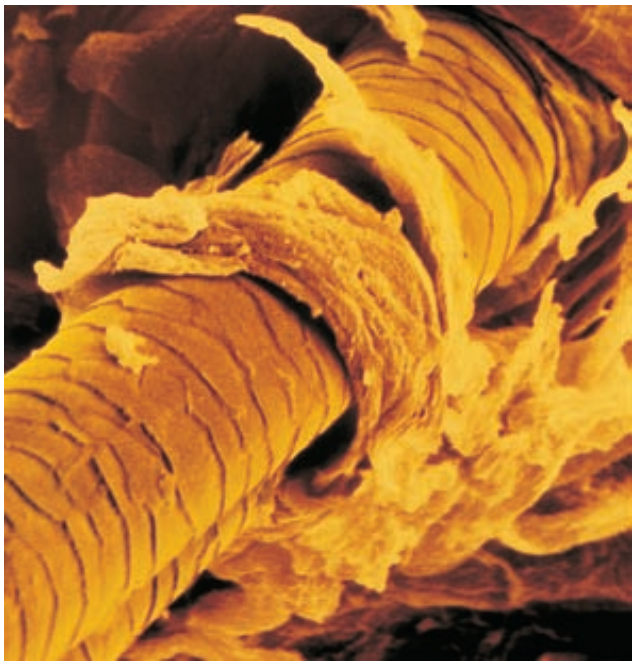


FIGURA 4.8 Microfotografía por escáner de electrones que muestra un eje capilar que emerge de un folículo de la superficie cutánea. Ten en cuenta el modo en que las células con forma de escamas de la cutícula se superponen entre sí (1.300×).

beza, y normalmente casi invisibles prácticamente en cualquier otra parte. Cuando el eje capilar es oval, el pelo es suave y sedoso y la persona tiene el cabello ondulado. Cuando el eje es plano y con forma de lazo, el pelo es rizado o crespo. Si es perfectamente redondo, el pelo es liso y tiende a ser áspero. Los pelos se encuentran en toda la superficie corporal excepto en las palmas de las manos, las plantas de los pies, los pezones y los labios. Los seres humanos nacemos con la cantidad de folículos capilares que tendremos durante toda la vida, y los pelos se encuentran entre los tejidos de mayor crecimiento del organismo. Las hormonas fomentan el desarrollo de las zonas peludas: el cuero cabelludo y, en los adultos, la zona púbica y axilar (axilas).

Folículos capilares Los **folículos capilares** son en realidad estructuras compuestas. La ***vaina epidérmica*** interna consta de tejido epitelial y forma el pelo. La *vaina dérmica* externa es en realidad tejido conectivo dérmico. Esta zona dérmica proporciona vasos sanguíneos a la región epidérmica y la refuerza. Su *papila* con forma de pezón proporciona el suministro sanguíneo a la matriz del bulbo capilar.

Observa atentamente la estructura del folículo capilar de la esquina delantera de la Figura 4.4. Ten en cuenta que está cortada. Unas pequeñas bandas de células musculares suaves (***arrector pili*** [“erectores del pelo”]) conectan cada lado del folículo capilar con el tejido dérmico. Cuando estos músculos se contraen (como cuando tenemos frío o estamos asustados), el pelo se eriza, lo que hace que aparezcan pequeños bultitos en la superficie cutánea; es lo que se denomina “piel de gallina”. Esta acción ayuda a los animales a mantenerse calientes en invierno añadiendo una capa de aire aislante al pelo. Es especialmente notorio en los gatos asustados, cuyo pelo se estira totalmente de modo que parezca mayor para amedrentar a sus enemigos. No obstante, este fenómeno de erizamiento del pelo no es muy útil para el ser humano.

Uñas

Una **uña** es una modificación de la epidermis con forma de escara que corresponde a la pezuña o garra de otros animales. Cada uña tiene un *borde libre,* un *cuerpo* (parte unida visible) y una *raíz* (incrustada en la piel). Los bordes de la uña tienen pliegues cutáneos superpuestos, denominados *pliegues ungueales*. El pliegue ungueal proximal grueso suele denominarse *cutícula* (Figura 4.9).

El estrato basal de la epidermis se extiende por debajo de la uña como el *lecho ungueal*. Su engrosada zona proximal, denominada *matriz ungueal,* es la responsable del crecimiento de la uña. A medida que la matriz produce células ungueales, éstas se van queratinizando más y mueren. Así, las uñas, al igual que los pelos, son en su mayor parte materia inerte.

Las uñas son transparentes y casi incoloras, pero parecen de color rosa debido al rico suministro sanguíneo de la dermis subyacente. Una excepción es la zona existente por encima de la matriz ungueal engrosada que aparece como una medialuna blanca y se denomina *lúnula* (*lunul* = medialuna). Como hemos mencionado anteriormente, cuando el suministro de oxígeno en la sangre es escaso, los lechos ungueales adquieren un tono cianótico (azul).

¿LO HAS ENTENDIDO?

10. ¿Cuáles son las tres zonas concéntricas del eje capilar, de fuera a dentro?
11. ¿Qué es el sebo?
12. ¿En qué se diferencian las secreciones de las glándulas apocrinas y las de las glándulas sudoríparas ecrinas?
13. Cuando el trabajador de una fábrica se pilla el dedo con una máquina, se desprenden toda la uña, la matriz y el lecho ungueal. ¿La uña vuelve a crecer? ¿Por qué?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

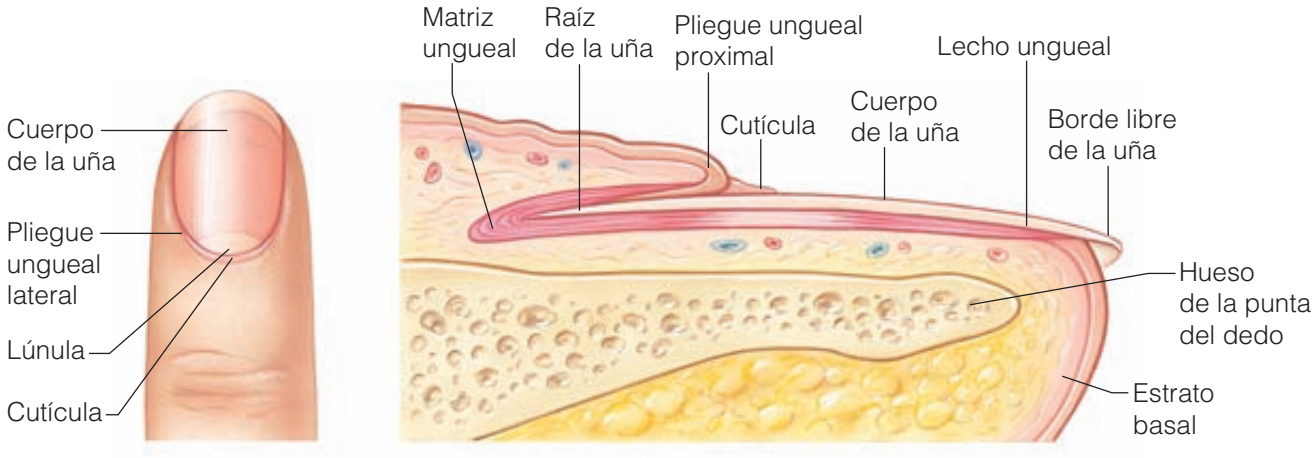


FIGURA 4.9 **Estructura de una uña.**

Desequilibrios homeostáticos de la piel

Es difícil no tomarse en serio cualquier problema relacionado con la piel porque, cuando ésta se rebela, se produce una revolución bastante visible. La pérdida de homeostasis en las células y órganos corporales puede aparecer en la piel de formas que a veces resultan increíbles. La piel puede desarrollar más de 1.000 enfermedades distintas. Los trastornos cutáneos más comunes son resultado de las alergias o de las infecciones bacterianas, víricas o micóticas. Menos comunes, pero mucho más dañinas, son las quemaduras y los carcinomas cutáneos. En las secciones que figuran a continuación se resumen brevemente varios de los desequilibrios homeostáticos de la piel.

Infecciones y alergias

- **Pie de atleta.** Enfermedad de descamación cutánea acompañada de picor y rojez entre los dedos de los pies debida a una infección micótica. También se denomina *tiña del pie*.
- **Furúnculos y carbúnculos.** Inflamación de los folículos capilares y de las glándulas sebáceas, común en el cuello dorsal. Los carbúnculos son furúnculos compuestos que suelen producirse por infecciones bacterianas (a menudo por *Staphylococcus aureus*).
- **Llagas del resfriado** (ampollas febriles). Pequeñas ampollas llenas de líquido que pican y escuecen, provocadas por la infección del *Herpes simplex*. El virus se localiza en un nervio cutáneo, donde permanece latente hasta que se activa debido a una molestia emocional, fiebre o radiación ultravioleta. Las llagas del resfriado suelen aparecer alrededor de los labios y en la mucosa oral de la boca (Figura 4.10a).
- **Dermatitis de contacto.** Picor, rojez e hinchazón cutánea, que acaba produciendo ampollas. Se produce por la exposición de la piel a sustancias químicas (como las que se encuentran en la hiedra venenosa) que provocan respuestas alérgicas en los individuos sensibles.
- **Impétigo** (*impet* = ataque). Erupciones rosáceas llenas de agua (normalmente alrededor de la boca y la nariz) que desarrollan una costra amarilla y acaban rompiéndose (Figura 4.10b). Provocado por una infección de *Staphylococcus* muy contagiosa, el impétigo es común durante la escuela elemental.
- **Psoriasis.** Enfermedad crónica, caracterizada por la sobreproducción de células cutáneas que provocan lesiones epidérmicas enrojecidas cubiertas por escaras plateadas y secas que pican, queman, se agrietan y a veces sangran (Figura 4.10c). Si es intensa, la psoriasis puede desfigurar la zona. Se cree que se trata de un trastorno autoinmune por el cual el sistema inmunológico ataca los propios tejidos del individuo. Los ataques se desencadenan a menudo por traumatismos, infecciones, cambios hormonales o estrés.

Quemaduras

La piel es tan gruesa como una toallita de papel; no tan impresionante como los sistemas orgánicos. Y aun así, cuando ésta sufre graves daños, sufre casi todo el sistema corporal. El metabolismo se acelera o puede deteriorarse; se producen cambios en el sistema inmunitario

(a) Llagas del resfriado

(b) Impétigo

(c) Psoriasis

FIGURA 4.10 **Lesiones cutáneas.**

y puede interrumpirse el funcionamiento del sistema cardiovascular. Tales daños pueden deberse a las quemaduras. Una **quemadura** es un daño del tejido y lleva a la muerte celular causada por un calor intenso, electricidad, radiación UV (quemaduras solares) o determinadas sustancias químicas (como los ácidos).

Existen pocas amenazas para la piel más graves que las quemaduras. Cuando la piel se quema y sus células se destruyen, pueden producirse dos problemas potencialmente mortales. En primer lugar, el cuerpo pierde su valioso suministro de líquidos que contienen proteínas y electrolitos, pues éstos se filtran por las superficies quemadas. La deshidratación y el desequilibrio de electrolitos continúa y puede producir un fallo renal y un *choque circulatorio* (circulación sanguínea inadecuada provocada por un escaso volumen de sangre). Para salvar al paciente, los líquidos perdidos deben restituirse de inmediato. El volumen de líquido perdido puede estimarse indirectamente determinando la cantidad de superficie corporal que se ha quemado (extensión de las quemaduras) mediante la **regla de los nueves.** Este método divide el cuerpo en 11 zonas, cada una de las cuales representa el nueve por ciento de la superficie corporal total, además de una zona adicional que rodea los genitales (el perineo) y representa el uno por ciento de la superficie corporal (Figura 4.11a).

Más adelante, la infección se convierte en la amenaza más importante y es la causa principal de muerte en las víctimas quemadas. La piel quemada permanece estéril durante unas 24 horas. Pero después de ese momento, *patógenos* como las bacterias y los hongos invaden fácilmente las zonas en las que la piel se ha destruido y se multiplican con rapidez en el entorno rico en nutrientes de los tejidos muertos. Para empeorar las cosas, el sistema inmunitario del paciente reduce su función uno o dos días después de una quemadura grave.

Las quemaduras se clasifican según su intensidad (profundidad) como quemaduras de primer, segundo o tercer grado (Figura 4.11b). En las **quemaduras de primer grado,** sólo se daña la epidermis. La zona se enrojece y se hincha. Aparte del malestar temporal, las quemaduras de primer grado no suelen ser graves y generalmente tardan dos o tres días en curarse sin ninguna atención especial. Las quemaduras solares suelen ser de primer grado.

Las **quemaduras de segundo grado** representan lesiones en la epidermis y en la zona superior de la dermis. La piel se enrojece y duele, y aparecen *ampollas*. Puesto que sigue habiendo suficientes células epiteliales, el epitelio puede regenerarse. Normalmente, no suelen dejar cicatrices permanentes si se intenta evitar la infección. Las quemaduras de primer y segundo grado se denominan **quemaduras de grosor parcial.**

Las **quemaduras de tercer grado** destruyen todo el grosor de la piel, de modo que estas quemaduras también se denominan **quemaduras de grosor completo.** La zona quemada aparece blanqueada (gris-blanco) o ennegrecida y, puesto que se destruyen las terminaciones nerviosas de la zona, no son dolorosas. En las quemaduras de tercer grado no hay regeneración posible, y deben realizarse injertos cutáneos para cubrir los tejidos subyacentes expuestos.

En general, las quemaduras se consideran *críticas* si se da alguno de estos casos:

1. Más del 25% del cuerpo presenta quemaduras de segundo grado.
2. Más del 10% del cuerpo presenta quemaduras de tercer grado.
3. Hay quemaduras de tercer grado en la cara, las manos o los pies.

P *¿Se regeneraría el pelo de una zona que haya presentado quemaduras de tercer grado? ¿Por qué?*

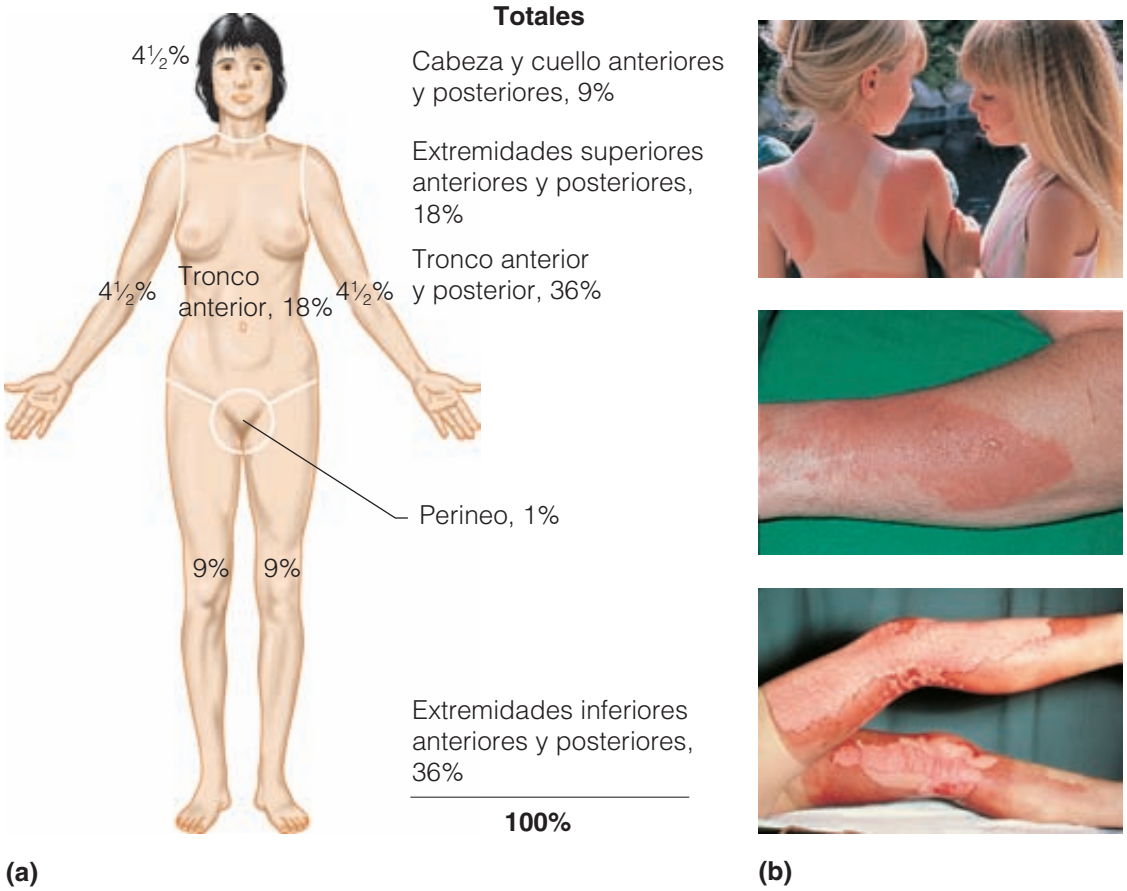


FIGURA 4.11 **Quemaduras. (a)** Estimación del alcance de las quemaduras mediante la regla de los nueves. Las zonas superficiales de la superficie corporal anterior se indican en la figura humana. La superficie total (superficies corporales anteriores y posteriores) se indica a la derecha de la figura. **(b)** Quemaduras de gravedad creciente, de arriba abajo: primer grado, segundo grado y tercer grado.

Las quemaduras faciales son especialmente peligrosas por la posibilidad de que también se produzcan en las vías respiratorias, que pueden hincharse y provocar asfixia. Las lesiones articulares son fastidiosas porque la cicatriz que se forma después puede limitar en gran medida la movilidad de la articulación.

Cáncer de piel

En la piel se producen muchos tipos de neoplasias (tumores). La mayoría de las neoplasias cutáneas son benignas y no se extienden (metastatizan) a otras zonas corporales (un ejemplo es una *verruga* causada por un virus). Sin embargo, algunas neoplasias cutáneas son malignas, o cancerosas, y tienden a invadir otras zonas corporales. De hecho, el cáncer de piel es el tipo de cáncer más común en los seres humanos. En la actualidad, uno de cada cinco estadounidenses desarrolla cáncer de piel en algún momento de su vida. El factor de riesgo más importante es la sobreexposición a la radiación ultravioleta de la luz solar. La frecuente irritación de la piel por infecciones, sustancias químicas o traumatismos físicos también parece ser un factor de predisposición.

Carcinoma de células basales El *carcinoma de células basales* es el cáncer de piel menos maligno y el más común. Las células del estrato basal se alteran de modo

R *No, porque las quemaduras de tercer grado destruyen la epidermis y la dermis de esa zona.*

P *¿Cuál de estos carcinomas procede de las células epidérmicas más superficiales?*

(a) Carcinoma de células basales

(b) Carcinoma de células escamosas

(c) Melanoma

FIGURA 4.12 **Fotografías de carcinomas cutáneos.**

que no pueden formar queratina y dejan de revestir el límite entre la epidermis y la dermis. Éstas proliferan, de modo que invaden la dermis y el tejido subcutáneo. Las lesiones del cáncer se producen con mayor frecuencia en las zonas de la cara expuestas al sol y aparecen nódulos brillantes y abultados que posteriormente desarrollan una úlcera central con un borde de "perlas" (Figura 4.12a). El carcinoma de las células basales presenta un crecimiento relativamente lento, y rara vez se produce la metástasis antes de su detección. Se cura por completo en el 99% de los casos en que las lesiones se eliminan quirúrgicamente.

Carcinoma de células escamosas El *carcinoma de células escamosas* surge a partir de las células del estrato espinoso. La lesión aparece como una *pápula* (erupción pequeña y redonda) enrojecida y escamosa que forma gradualmente una úlcera superficial con un borde firme y elevado (Figura 4.12b). Esta variedad de cáncer de piel aparece con mayor frecuencia en el cuero cabelludo, las orejas, el dorso de las manos y el labio inferior. Crece con rapidez y se metastatiza a los nodos linfáticos adyacentes si no se elimina. También se cree que este cáncer epidérmico se produce por el sol. Si se detecta pronto y se elimina quirúrgicamente o con un tratamiento de radiación, es probable que se cure por completo.

Melanoma maligno El *melanoma maligno* es un cáncer de melanocitos. Sólo representa en torno al 5% de los carcinomas cutáneos, pero su incidencia está aumentando rápidamente y a menudo es mortal. El melanoma puede comenzar donde sea que haya pigmento; la mayoría de estos tipos de cáncer aparecen espontáneamente, pero algunos se desarrollan a partir de lunares pigmentados. Proceden de daños del ADN acumulados en una célula cutánea y suelen aparecer como una mancha entre marrón y negra que se extiende (Figura 4.12c) y se metastatiza rápidamente a los vasos sanguíneos y linfáticos circundantes. La posibilidad de supervivencia es del 50% aproximadamente, y más si se detecta pronto. La *American Cancer Society* sugiere que las personas que toman el sol con frecuencia o que asisten a centros de bronceado examinen su piel periódicamente en busca de lunares nuevos o pecas pigmentadas y apliquen la **regla del ABCD** para reconocer los melanomas:

(A) Asimetría. Los dos lados de la peca o lunar pigmentado no coinciden.

(B) Bordes. Los bordes de la lesión no son suaves, sino que muestran muescas.

(C) Color. La peca pigmentada contiene zonas de distintos colores (negras, marrones, canela y a veces azules y rojas).

(D) Diámetro. La peca tiene un diámetro mayor de 6 mm (el tamaño de un borrador que se incluye en el extremo de algunos lápices).

Algunos expertos han descubierto que añadiendo una **E,** de *elevación* sobre la superficie cutánea, mejora el diagnóstico. El tratamiento habitual de los melanomas malignos es una ancha incisión quirúrgica junto con inmunoterapia.

¿LO HAS ENTENDIDO?

14. ¿Cuáles son las dos consecuencias potencialmente mortales de una quemadura grave?
15. ¿Cuáles son los criterios para clasificar las quemaduras de primer, segundo y tercer grado?

R *El carcinoma de células escamosas.*

16. ¿Cuál es el factor de riesgo más común del cáncer de piel?
17. ¿Por qué no se desarrolla ningún cáncer de piel a partir de las células del estrato córneo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Formación y desarrollo de la piel y las membranas corporales

Durante el quinto y el sexto mes del desarrollo fetal, el bebé no nato se cubre de un tipo de vello sedoso denominado *lanugo,* pero este manto peludo suele haberse desprendido para el momento del nacimiento. Al nacer, la piel del bebé está cubierta por la *vernix caseosa.* Esta sustancia blanca de aspecto maloliente, producida por las glándulas sebáceas, protege la piel del bebé mientras éste flota en su saco lleno de agua dentro de la madre. La piel del neonato es muy fina, y pueden verse fácilmente los vasos sanguíneos a través de ella. Normalmente, existen acumulaciones en las glándulas sebáceas, que aparecen como pequeños puntos blancos denominados *milia,* de la nariz y la frente del bebé. Éstas suelen desaparecer la tercera semana tras el nacimiento. A medida que el bebé crece, su piel se engrosa y se tersa, y se deposita más grasa subcutánea.

Durante la adolescencia, la piel y el pelo se vuelven más aceitosos a medida que se activan las glándulas sebáceas, y puede aparecer acné. El acné suele reducirse al principio de la adultez, y la piel alcanza su aspecto óptimo entre los veinte y los treinta años de edad. A continuación, comienzan a aparecer visibles cambios en la piel debido a los continuos daños por abrasiones, sustancias químicas, el viento, el sol y otras sustancias irritantes, y los poros se obstruyen debido a los contaminantes y las bacterias. Por tanto, las espinillas, las escaras y varios tipos de *dermatitis* o inflamaciones cutáneas se vuelven más comunes.

Durante la vejez, se reduce la cantidad de tejido subcutáneo, lo que produce la intolerancia al frío tan común en las personas mayores. La piel también se vuelve más seca (ya que se reduce la producción de aceite) y, como resultado, pueden aparecer picores y molestias. La reducción del grosor de la piel, otro resultado del proceso de envejecimiento, la hace más susceptible las magulladuras y otros tipos de lesiones. La elasticidad cada vez menor de la piel, junto con la pérdida de grasa subcutánea, fomenta la formación de bolsas debajo de los ojos y comienza a aparecer la papada.

Esta pérdida de elasticidad se acelera con el tabaco y la luz solar, así que dos de las mejores cosas que puedes hacer por tu piel es dejar de fumar si tienes ese hábito y protegerte del sol con cremas de protección solar y ropa. De este modo, también estarás reduciendo las posibilidades de cáncer de piel. Aunque no hay ninguna forma de evitar el envejecimiento de la piel, una buena nutrición, rica en líquidos, y la limpieza ayudan a retrasar el proceso.

El pelo pierde su brillo a medida que envejecemos, y a los 50 años la cantidad de folículos capilares se ha reducido un tercio y continúa disminuyendo, lo que produce la pérdida de grosor del pelo y cierto grado de calvicie (o *alopecia*) en la mayoría de las personas. Muchos hombres pueden quedarse calvos a medida que envejecen, un fenómeno denominado *calvicie masculina.* Un hombre calvo realmente no se queda sin pelo, pues continúa teniendo pelo en la zona de la calva. Sin embargo, puesto que estos folículos capilares han comenzado a degenerarse, el pelo pierde color y se vuelve minúsculo (y puede que no salga del folículo). Tales pelos se denominan *vello.*

Otro fenómeno del envejecimiento es el pelo canoso. Al igual que la calvicie, se controla genéticamente mediante un gen de "acción retardante". Cuando este gen se activa, la cantidad de melanina depositada en el pelo se reduce o se vuelve inexistente, lo que produce la aparición de canas.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Determinados eventos pueden fomentar la aparición de canas o la caída del pelo prematuramente. Por ejemplo, muchas personas afirman que les salen canas casi de la noche a la mañana debido a algunas crisis emocionales de su vida. Asimismo, sabemos que la ansiedad, las dietas con carencias proteicas, los tratamientos con determinadas sustancias químicas (quimioterapia), la radiación, el exceso de vitamina A y determinadas enfermedades micóticas (tiñas) pueden provocar la aparición de canas y la pérdida capilar. No obstante, cuando la causa de estas enfermedades no es genética, la pérdida capilar no suele ser permanente. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

18. ¿Qué cambio del envejecimiento de la piel produce arrugas e intolerancia al frío en las personas mayores?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

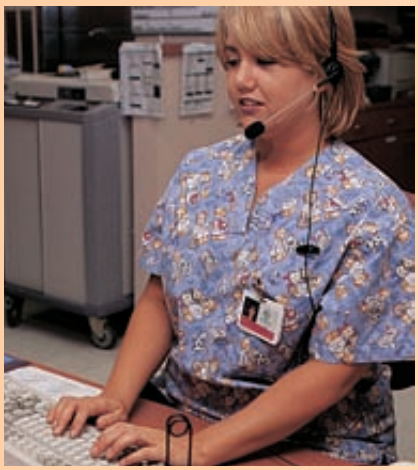
orientación PROFESIONAL

TRANSCRIPTOR MÉDICO

«Si tenemos un conocimiento básico sobre anatomía y terminología médica, seremos mucho más precisos en la interpretación y transcripción de lo que oigamos.»

Cada vez que consultamos al médico o somos hospitalizados, se guardan registros para ayudar a los profesionales de atención sanitaria en la evaluación y supervisión de las enfermedades. Los transcriptores médicos desempeñan una función clave en la creación y el mantenimiento de estos documentos vitales.

Un transcriptor médico es un especialista en lenguaje médico que interpreta y



transcribe notas dictadas por los médicos y otros profesionales de atención sanitaria. Estos informes, que abarcan todos los aspectos de la evaluación, el diagnóstico, el tratamiento y los resultados del paciente, se convierten en parte de la historia clínica confidencial de la persona. Los transcriptores médicos trabajan en hospitales, clínicas, despachos de médicos, servicios de transcripción, compañías de seguros y agencias de atención sanitaria doméstica.

¿Qué es necesario para ser transcriptor? "Con toda certeza, se necesita una buena formación en inglés", afirma Pamela Shull, una transcriptora experimentada de San José (California). "Unas habilidades sobre gramática, ortografía y puntuación son cruciales. Con frecuencia, los médicos dictan estos registros sobre la marcha, y un buen transcriptor debe ser capaz de editar el material dictado con claridad y una buena gramática."

No obstante, el conocimiento de anatomía y fisiología es incluso más importante. Shull apunta: "Si conocemos la anatomía y la terminología médica, seremos mucho más precisos en la interpretación y transcripción de lo que oigamos. Un transcriptor de un hospital trata con términos de una gran variedad de especialidades médicas; un dictado puede ser de un ginecólogo; el siguiente, de un cirujano ortopédico y el siguiente, de un pediatra". Éste es el motivo por el que la anatomía y la fisiología, la terminología médica y el estudio de los procesos patológicos conforman la mayor parte del plan de estudios de los programas de formación de transcripción médica.

Todos los profesionales sanitarios que tratan con pacientes confían en estos documentos mecanografiados, así que es vital una transcripción precisa: "Veo al transcriptor como la pareja del médico. Trabajamos con ellos para crear excelentes registros médicos, de modo que los pacientes siempre tendrán la garantía de estar recibiendo el mejor cuidado posible y el más adecuado".

Shull disfruta de la variedad del trabajo de transcriptora médica. "Resulta fascinante porque tenemos la oportunidad de seguir la historia de cada paciente, desde el problema inicial hasta el diagnóstico y su tratamiento", afirma. "Nos sentimos como si conociésemos a estas personas. Es como ver uno de esos impactantes dramas televisivos; ¡sólo que esto es la vida real!"

Las clases de transcripción médica se ofrecen en institutos de enseñanza superior, instituciones educativas con fines de lucro y programas de formación a distancia, y su duración varía entre varios meses y dos años. Los procedimientos de acreditación difieren según el estado.

La *American Association for Medical Transcription* (AAMT) recomienda un programa de dos años que incluya al menos 240 horas de formación práctica en unas instalaciones de atención sanitaria.

> *"Las clases de anatomía y fisiología conforman gran parte del plan de estudios de los programas de formación de transcripción médica."*

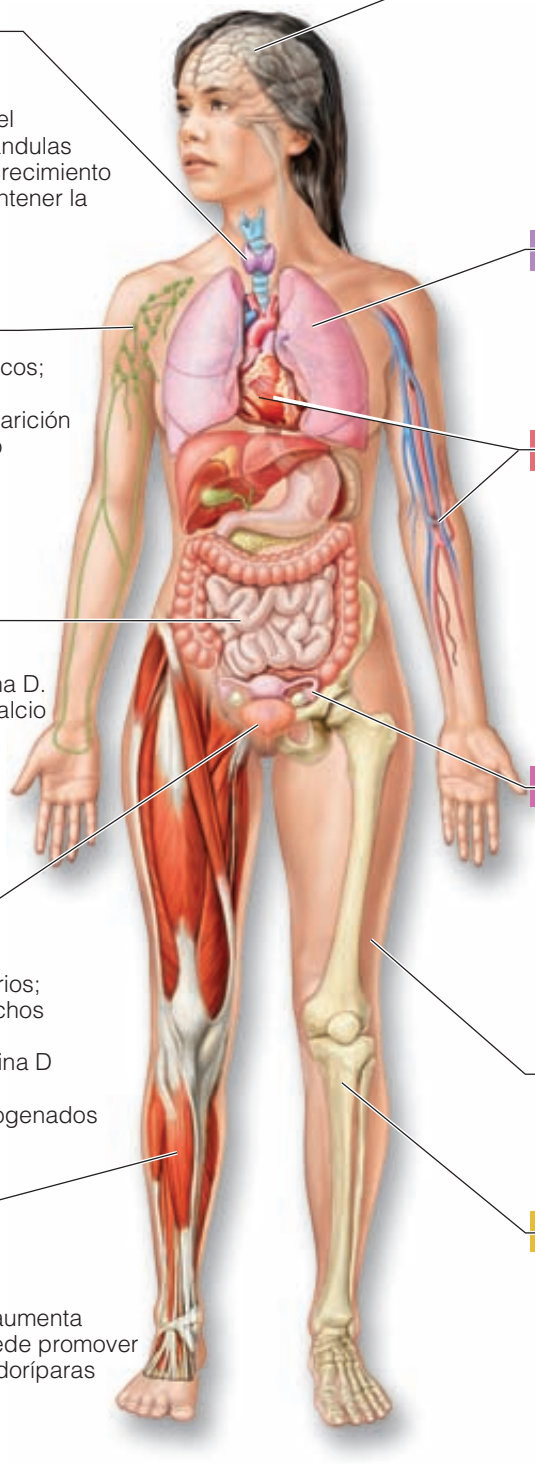
Para obtener más información, póngase en contacto con la AAMT:

100 Sycamore Avenue
Modesto, CA 95354
TelÉFONO: (800) 982-2182 ó
(209) 527-9620
http://www.aamt.org

Si desea obtener más información sobre esta profesión, haga clic en el vínculo *Focus on Careers* que aparece en la página www.anatomyandphysiology.com.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA INTEGUMENTARIO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema endocrino

- La piel protege los órganos endocrinos.
- Los andrógenos producidos por el sistema endocrino activan las glándulas sebáceas y ayudan a regular el crecimiento capilar; el estrógeno ayuda a mantener la hidratación cutánea.

Sistema linfático/inmunidad

- La piel protege los órganos linfáticos; evita la invasión de patógenos.
- El sistema linfático previene la aparición de edemas recogiendo el exceso de líquido filtrado; el sistema inmunitario protege las células cutáneas.

Sistema digestivo

- Las piel protege los órganos digestivos; proporciona la vitamina D. necesaria para la absorción de calcio
- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para la piel.

Sistema urinario

- La piel protege los órganos urinarios; excreta las sales y algunos desechos nitrogenados en el sudor.
- El sistema urinario activa la vitamina D producida por los queratinocitos; se deshace de los desechos nitrogenados del metabolismo cutáneo.

Sistema muscular

- La piel protege los músculos.
- Los músculos activos generan una gran cantidad de calor que aumenta el flujo sanguíneo de la piel y puede promover la activación de las glándulas sudoríparas de la piel.

Sistema nervioso

- La piel protege los órganos del sistema nervioso; los receptores sensoriales cutáneos localizados en la piel.
- El sistema nervioso regula el diámetro de los vasos sanguíneos en la piel; activa las glándulas sudoríparas, lo que contribuye a la regulación térmica; interpreta las sensaciones cutáneas; activa los músculos erectores del pelo.

Sistema respiratorio

- La piel protege los órganos respiratorios
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno a las células cutáneas y elimina el dióxido de carbono mediante el intercambio gaseoso con la sangre.

Sistema cardiovascular

- La piel protege los órganos cardiovasculares; evita la pérdida de líquidos de la superficie corporal; actúa como reserva de sangre.
- El sistema cardiovascular transporta oxígeno y nutrientes a la piel y elimina los desechos de ésta; proporciona las sustancias necesarias a las glándulas cutáneas para que fabriquen sus secreciones.

Sistema reproductor

- La piel protege los órganos reproductores; las glándulas sudoríparas muy modificadas (glándulas mamarias) producen leche. Durante el embarazo, la piel se estira para acomodar al feto en desarrollo; pueden producirse cambios en la pigmentación de la piel.

Sistema integumentario (piel)

Sistema esquelético

- La piel protege los huesos y sintetiza la vitamina D que los huesos necesitan para la absorción normal de calcio y el depósito de sales óseas (calcio) que endurecen los huesos.
- El sistema esquelético proporciona apoyo a la piel.

RESUMEN

Las herramientas de información mediática que proporcionan una revisión adicional de los temas principales del Capítulo 4 se indican a continuación.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Clasificación de las membranas corporales (págs. 110-113)

1. Epitelial: órganos simples, componentes del tejido conectivo y epitelial.
   a. Cutánea (la piel): epidermis (epitelio estratificado escamoso) que se extiende por encima de la dermis (tejido conectivo denso); protege la superficie corporal.
   b. Mucosa: capa epitelial que se extiende por encima de la lámina propia (tejido conectivo areolar); bordea las cavidades corporales abiertas al exterior.
   c. Serosa: restos de epitelio escamoso simple de una capa de tejido conectivo escasa; bordea la cavidad corporal ventral.
2. Tejido conectivo: sinovial; bordea las cavidades articulares.

El sistema integumentario (piel) (págs. 114-127)

1. Las funciones de la piel incluyen la protección del tejido más profundo frente a sustancias químicas, bacterias, golpes y secado; la regulación de la temperatura corporal mediante la irradiación y el sudor; y la síntesis de proteínas defensivas y vitamina D. Los receptores sensoriales cutáneos se encuentran en la piel.
2. La epidermis, la parte más superficial de la piel, está formada por epitelio queratinizado escamoso estratificado y es avascular. Si nos desplazamos de la zona superficial a la más profunda, nos encontramos con sus capas denominadas estrato córneo, estrato lúcido (sólo en la piel gruesa), estrato granuloso, estrato espinoso y estrato basal. Las células de su superficie están muertas y se desprenden continuamente. Se sustituyen mediante la división celular de la capa celular basal. A medida que las células se alejan de la capa basal, acumulan queratina y mueren. La melanina, un pigmento producido por los melanocitos, protege los núcleos de las células epiteliales frente a los rayos dañinos del sol.
3. La dermis se compone de tejido conectivo denso. Es el lugar donde se encuentran los vasos sanguíneos, los nervios y los apéndices epidérmicos. Se divide en dos zonas: las capas papilar y reticular. La capa papilar posee puentes, que presionan sobre la epidermis para producir las huellas dactilares.
4. Los apéndices cutáneos se forman a partir de la epidermis, pero residen en la dermis.
   a. Las glándulas sebáceas producen un producto aceitoso (sebo), que suele canalizarse en un folículo capilar. El sebo mantiene la piel y el pelo suaves y contiene sustancias químicas que eliminan las bacterias.
   b. Las glándulas sudoríparas, controladas por el sistema nervioso, producen sudor, que se canaliza hasta la superficie epitelial. Estas glándulas forman parte del sistema de regulación térmica del organismo. Existen dos tipos: ecrinas (las más numerosas) y apocrinas (su producto incluye ácidos grasos y proteínas, que metabolizan las bacterias cutáneas).
   c. Un pelo está formado principalmente por células queratinizadas muertas y los produce la matriz en el bulbo capilar. La raíz está dentro de una vaina: el folículo capilar.
   d. Las uñas son derivados callosos de la epidermis. Al igual que el pelo, la uñas están formadas principalmente por células queratinizadas muertas.

   WEB Ejercicio: Chapter 4, Structure of the Skin.
5. La mayoría de los achaques leves de la piel son consecuencia de infecciones o de respuestas alérgicas; los más graves son las quemaduras y el cáncer de piel. Puesto que interfieren con las funciones protectoras de la piel, las quemaduras representan una gran amenaza para el organismo.

   WEB Ejercicio: Chapter 4, Integumentary I Case Study.
   a. Las quemaduras provocan la pérdida de líquidos corporales y la invasión de bacterias. El alcance de las quemaduras se evalúa según la regla de los nueves. La gravedad (profundidad) de las quemaduras puede ser de primer grado (sólo daños epidérmicos), de segundo grado (lesiones epidérmicas y algunas dérmicas) y de tercer grado (epidermis y dermis totalmente destruidas). Las quemaduras de tercer grado requieren injertos cutáneos.
   b. La causa más común de cáncer de piel es la exposición a la radiación ultravioleta. Los carcinomas de las células basales y de las células escamosas pueden curarse por completo si se eliminan antes de la metástasis. El melanoma maligno, un cáncer de melanocitos, sigue siendo bastante raro, pero es fatal en la mitad de los casos, aproximadamente.

   WEB Ejercicio: Chapter 4, Integumentary II Case Study; At the Clinic: Integumentary.

Formación y desarrollo de la piel y las membranas corporales (pág. 127)

1. La piel es gruesa, elástica y está bien hidratada en la juventud, pero pierde su elasticidad y su grosor a medida que envejecemos. El cáncer de piel es una amenaza relevante para la piel expuesta a la luz solar excesiva.
2. La calvicie o la aparición de calvas se produce con el envejecimiento. Ambas vienen determinadas por los genes, pero también pueden deberse a otros factores (drogas, estrés emocional, etc.).

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Selecciona la afirmación falsa sobre las membranas mucosa y serosa:
   a. El tipo epitelial es igual en todas las membranas serosas, pero hay distintos tipos epiteliales en las distintas membranas mucosas.
   b. Las membranas serosas bordean las cavidades encerradas, mientras que las membranas mucosas bordean las cavidades abiertas al exterior.
   c. Las membranas serosas siempre producen líquido seroso, y las membranas mucosas siempre secretan mocos.
   d. Ambas membranas contienen un epitelio y una capa de tejido conectivo suelto.
2. Las membranas serosas
   a. bordean la boca,
   b. disponen de capas parietal y visceral,
   c. constan de epidermis y dermis,
   d. disponen de una capa de tejido conectivo denominada lámina propia,
   e. secretan un líquido lubricante.
3. ¿Cuál de los siguientes no es un componente del sudor?
   a. Agua.
   b. Cloruro sódico.
   c. Sebo.
   d. Amoniaco.
   e. Vitamina D.
4. ¿Qué estructura no está asociada al pelo?
   a. Eje.
   b. Corteza.
   c. Lúnula.
   d. Matriz.
   e. Cutícula.
5. Al investigar la causa de la pérdida de grosor del pelo, ¿cuál de las siguientes preguntas debemos hacernos?
   a. ¿La dieta carece de proteínas?
   b. ¿La persona está tomando megadosis de vitamina C?
   c. ¿La persona ha estado expuesta a demasiada radiación?
   d. ¿La persona ha sufrido recientemente intensos traumas emocionales?
6. ¿Qué estructura no está asociada a las uñas?
   a. Lecho ungueal.
   b. Lúnula.
   c. Pliegues ungueales.
   d. Folículo ungueal.
7. ¿Cuál de las siguientes partes no está asociada a la producción de transpiración?
   a. Glándulas sudoríparas.
   b. Poros sudoríparos.
   c. Músculo erector del pelo.
   d. Glándula ecrina.
   e. Glándula apocrina.
8. ¿Cuál de las siguientes no es una estructura cutánea?
   a. Corpúsculo de Pacini.
   b. Papila dérmica.
   c. Pelo.
   d. Uñas.
9. Une las estructuras de la derecha con su función de la izquierda.

____ 1.	Protección frente a la radiación ultravioleta.	a. Capa reticular de la dermis.
____ 2.	Aislamiento, almacenamiento energético.	b. Suministro. sanguíneo dérmico.
____ 3.	Impermeabilizante y evitación de pérdida de agua.	c. Capa papilar de la dermis.
____ 4.	Regulación térmica.	d. Hipodermis.
____ 5.	Excreción de agua, urea y sales.	e. Melanocitos.
____ 6.	Produce los modelos de las huellas dactilares.	f. Estrato córneo.
		g. Glándulas sudoríparas ecrinas.

Respuesta breve

10. ¿Cómo se llama la membrana de tejido conectivo que bordea las cavidades articulares?
11. ¿De qué tipos de daños protege la piel al cuerpo?
12. Explica por qué nos bronceamos después de tomar el sol.
13. ¿Qué es una úlcera por presión? ¿Por qué se produce?
14. Nombra dos categorías distintas de secreciones cutáneas y las glándulas que las fabrican.
15. ¿Cómo ayuda la piel a regular la temperatura corporal?
16. ¿Qué es un punto negro?
17. ¿Qué son los músculos erectores del pelo? ¿Cuál es su función?
18. ¿Qué cáncer de piel se forma en las células del estrato espinoso?
19. ¿Por qué aparecen las canas?
20. Nombra tres cambios que se producen en la piel por el envejecimiento.
21. ¿Realmente un calvo no tiene pelo? Justifica la respuesta.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

22. Una enfermera le dice al médico que un paciente está cianótico. ¿Qué es la cianosis? ¿Qué indica su presencia?
23. Tanto los recién nacidos como las personas mayores poseen muy poco tejido subcutáneo. ¿Cómo afecta esto a su sensibilidad ante las temperaturas bajas del entorno?
24. Un "chuloplaya" de 40 años te cuenta que su bronceado le hizo muy popular cuando era joven, pero se queja de que ahora tiene la cara llena de arrugas y le han salido varios lunares oscuros que están creciendo rápidamente y que son tan grandes como una moneda. Te muestra los lunares, y tu piensas instantáneamente "ABCD". ¿Qué significa eso? ¿Y por qué debería preocuparse el chuloplaya?
25. Marta, madre de un bebé de 13 meses, lleva a su hijo a la clínica porque tiene la piel naranja. ¿Por qué el pediatra le pregunta por la dieta de su hijo?
26. El agua de una piscina es hipotónica para nuestras células. ¿Por qué no nos hinchamos ni reventamos cuando nos bañamos en ella?
27. El señor García, un pescador de casi 70 años, acude a la clínica aquejado de pequeñas úlceras en los dos antebrazos, así como en la cara y las orejas. Aunque lleva con ellas varios años, no había tenido ningún problema. ¿Cuál es el diagnóstico más probable? ¿Y la causa más probable?
28. El señor Pérez está recibiendo un tratamiento con fármacos de forma transdérmica (a través de la piel). Explica por qué los fármacos administrados por esta vía son liposolubles y no hidrosolubles.
29. ¿Por qué la piel bronceada suele pelarse por capas?
30. ¿Qué tipo de inyección permitiría la absorción de un fármaco con más rapidez, la intradérmica o la subcutánea (una inyección superficial sólo en la epidermis)? ¿Por qué?

CAPÍTULO 5

El sistema esquelético

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás adquirido un conocimiento práctico de las funciones del sistema esquelético y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN FUNCIONAL

- El sistema esquelético proporciona al cuerpo humano una estructura interna, protege los órganos alojándolos y fija los músculos esqueléticos de modo que la contracción muscular provoque el movimiento.

NUESTROS OBJETIVOS

Huesos: descripción general (págs. 134-144)

- Identificar las subdivisiones del esqueleto en axial o apendicular.
- Enumerar un mínimo de tres funciones del sistema esquelético.
- Nombrar las cuatro clasificaciones principales de los huesos.
- Identificar las principales zonas anatómicas de un hueso largo.
- Explicar la función de las sales óseas y de la matriz orgánica para la resistencia y flexibilidad de los huesos.
- Describir brevemente el proceso de formación de los huesos en el feto y resumir los eventos de la remodelación ósea durante la vida.
- Nombrar y describir los distintos tipos de fracturas.

Esqueleto axial (págs. 145-158)

- En un cráneo o diagrama, identificar y nombrar los huesos que lo forman.
- Describir las diferencias entre el cráneo de un recién nacido (o feto) y el de un adulto, y explicar la función de las fontanelas.
- Nombrar las partes de una vértebra y explicar, en líneas generales, la diferencia entre las vértebras cervicales, torácica y lumbares.
- Explicar la importancia de los discos intervertebrales y de las curvaturas de la columna vertebral.
- Explicar las diferencias entre las curvaturas irregulares de la columna vertebral (escoliosis, lordosis y cifosis).

Esqueleto apendicular (págs. 158-166)

- Identificar en un esqueleto o diagrama los huesos de las cinturas pélvicas y del hombro y los miembros unidos a éstas.
- Describir las diferencias más significativas entre la pelvis masculina y la femenina.

Articulaciones (págs. 166-174)

- Nombrar las tres categorías principales de las articulaciones, y comparar la amplitud de movimiento que permite cada una.

Formación y desarrollo del esqueleto (págs. 174-176)

- Identificar algunas de las causas de los problemas óseos y articulares a lo largo de la vida.

Aunque la palabra esqueleto viene de la palabra griega que significa "cuerpo seco", la belleza del diseño y la ingeniería de nuestra estructura interna no tiene ni punto de comparación con ningún rascacielos moderno. Fuerte, aunque ligero, está perfectamente adaptado a las funciones de protección y movimiento del cuerpo. De hecho, el esqueleto es una torre de huesos organizada de modo que podamos mantenernos rectos y equilibrados por nosotros mismos. Ningún otro animal tiene unas piernas tan relativamente largas (en comparación con los brazos o los miembros superiores) ni unos pies tan extraños, y muy pocos poseen unas manos con una capacidad de sujeción tan destacable. A pesar de que la espina dorsal de un bebé es como un arco, pronto cambia a la estructura de dorso hundido (o forma de S) necesaria para mantener una postura erguida.

El esqueleto se divide en dos partes: el **esqueleto axial,** los huesos que forman el eje longitudinal del cuerpo, y el **esqueleto apendicular,** los huesos de los miembros y las cinturas. Además de los huesos, el sistema esquelético incluye las *articulaciones*, los *cartílagos* y los *ligamentos* (cuerdas fibrosas que unen los huesos a las articulaciones). Las articulaciones proporcionan flexibilidad al cuerpo y permiten que se produzca el movimiento.

Huesos: descripción general

Todos hemos oído en algún momento las expresiones "no poder con sus huesos", "estar en los huesos" o "saco de huesos"; imágenes bastante poco favorecedoras e imprecisas sobre algunos de nuestros órganos más extraordinarios. Nuestro cerebro, y no nuestros huesos, es quien transmite las sensaciones de fatiga, y nuestra masa muscular no puede desaparecer hasta el punto de que nuestros huesos queden pegados a la piel. En cuanto a "saco de huesos", éstos son más obvios en algunos de nosotros, pero sin ellos para formar el esqueleto interno, nos arrastraríamos por la tierra como las babosas. Examinemos el modo en que los huesos contribuyen a la homeostasis corporal global.

Funciones de los huesos

Además de contribuir a la forma corporal, los huesos realizan varias funciones importantes para el organismo:

1. **Soporte.** Los huesos, las "cinturas de acero" y el "cemento reforzado" del cuerpo, forman la estructura interna que soporta el cuerpo y aloja los órganos blandos. Los huesos de las piernas sirven de

pilares para soportar el tronco corporal cuando estamos de pie, y el tórax soporta la pared torácica.

2. **Protección.** Los huesos protegen los órganos corporales blandos. Por ejemplo, los huesos fusionados del esqueleto de la cabeza proporcionan un confortable alojamiento para el cerebro, que nos permite dar un cabezazo a un balón de fútbol sin tener que preocuparnos de dañar el cerebro. Las vértebras rodean a la médula espinal, y la caja torácica ayuda a proteger los órganos vitales del tórax.
3. **Movimiento.** Los músculos esqueléticos, unidos a los huesos por los tendones, utilizan los huesos a modo de palancas para mover el cuerpo y sus partes. Por tanto, podemos hablar, nadar, lanzar una pelota y respirar. Antes de continuar, tómate un momento para imaginar que tus huesos se han convertido en masilla. ¿Qué sucedería si fueses corriendo cuando se produjese este cambio? Ahora imagina que tus huesos forman una estructura rígida de metal dentro del cuerpo, algo parecido a un sistema de cañerías. ¿Qué problemas crees que provocaría esta organización? Estas imágenes deberían ayudarte a entender el buen soporte y protección que proporciona el sistema esquelético a la vez que permite el movimiento.
4. **Almacenamiento.** La grasa se almacena en las cavidades óseas internas. El hueso por sí mismo sirve de almacén de minerales, entre los que destacan el calcio y el fósforo por su importancia. Debe haber una pequeña cantidad de calcio en su forma iónica (Ca^{2+}) en la sangre constantemente para que el sistema nervioso transmita mensajes, para que los músculos se contraigan y para que la sangre se coagule. Puesto que la mayor parte del calcio corporal se deposita en los huesos como sales cálcicas, los huesos son un lugar cómodo para obtener más iones de calcio para la sangre a medida que éstos se van agotando. Los problemas no sólo se producen cuando hay poco calcio en la sangre, sino también cuando hay demasiado. Las hormonas controlan el movimiento del calcio desde los huesos y la sangre y hasta éstos según las necesidades del organismo. De hecho, los "depósitos" y "retiradas" de calcio (y otros minerales) hasta los huesos y desde éstos continúan casi constantemente.
5. **Formación de células sanguíneas.** La formación de células sanguíneas (o hematopoyesis) se produce dentro de las cavidades del tuétano de determinados huesos.

Clasificación de los huesos

El esqueleto adulto consta de 206 huesos. Existen dos tipos básicos de tejido óseo (o huesos): el **hueso compacto** es denso y tiene un aspecto más suave y homogéneo. El **hueso esponjoso** consta de pequeñas partes de hueso con forma de alfiler y muchos espacios abiertos.

Los huesos tienen muchas formas y tamaños (Figura 5.1). Por ejemplo, un diminuto hueso pisiforme de la muñeca tiene el tamaño y la forma de un guisante, mientras que el fémur (o hueso del muslo) tiene una longitud de algo más de medio metro con una cabeza grande y redonda. La forma exclusiva de cada hueso cumple una necesidad concreta. Los huesos se clasifican en cuatro grupos según su forma: largo, corto, plano e irregular (véase la Figura 5.1).

Como su nombre sugiere, los **huesos largos** suelen ser más largos que anchos. Por regla general, poseen un eje con una cabeza en cada extremo. La mayoría de los huesos largos son compactos. Todos los huesos de los miembros, excepto la rótula (hueso de la rodilla) y los huesos de la muñeca y el tobillo, son huesos largos.

Los **huesos cortos** suelen tener forma de cubo e incluyen fundamentalmente huesos esponjosos. Los huesos de la muñeca y el tobillo son huesos cortos. Los *huesos sesamoideos*, que se forman en los tendones, son un tipo especial de hueso corto. El ejemplo más conocido es la rótula.

Los **huesos planos** son finos, planos y normalmente curvados. Poseen dos capas finas de hueso compacto entre las que se encuentra un capa de hueso esponjoso. La mayor parte de los huesos del cráneo, las costillas y el esternón (hueso del pecho) son huesos planos.

Los huesos que no se ajustan a ninguna de las categorías anteriores se denominan **huesos irregulares.** Las vértebras, que forman la columna vertebral, y los huesos de la cadera se incluyen en este grupo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Cuál es la relación entre la función muscular y los huesos musculares?
2. ¿En qué parte del cuerpo se encuentran los huesos más largos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Estructura de los huesos largos

Anatomía general

La estructura general de los huesos largos aparece en la Figura 5.2. La **diáfisis** conforma la mayor parte de la longitud del hueso y consta de hueso compacto. La diáfisis está cubierta y protegida por una membrana de tejido conectivo fibroso, el **periostio.** Cientos de fibras de tejido conectivo, denominadas **fibras perforantes** o de **Sharpey,** sujetan el periostio al hueso subyacente.

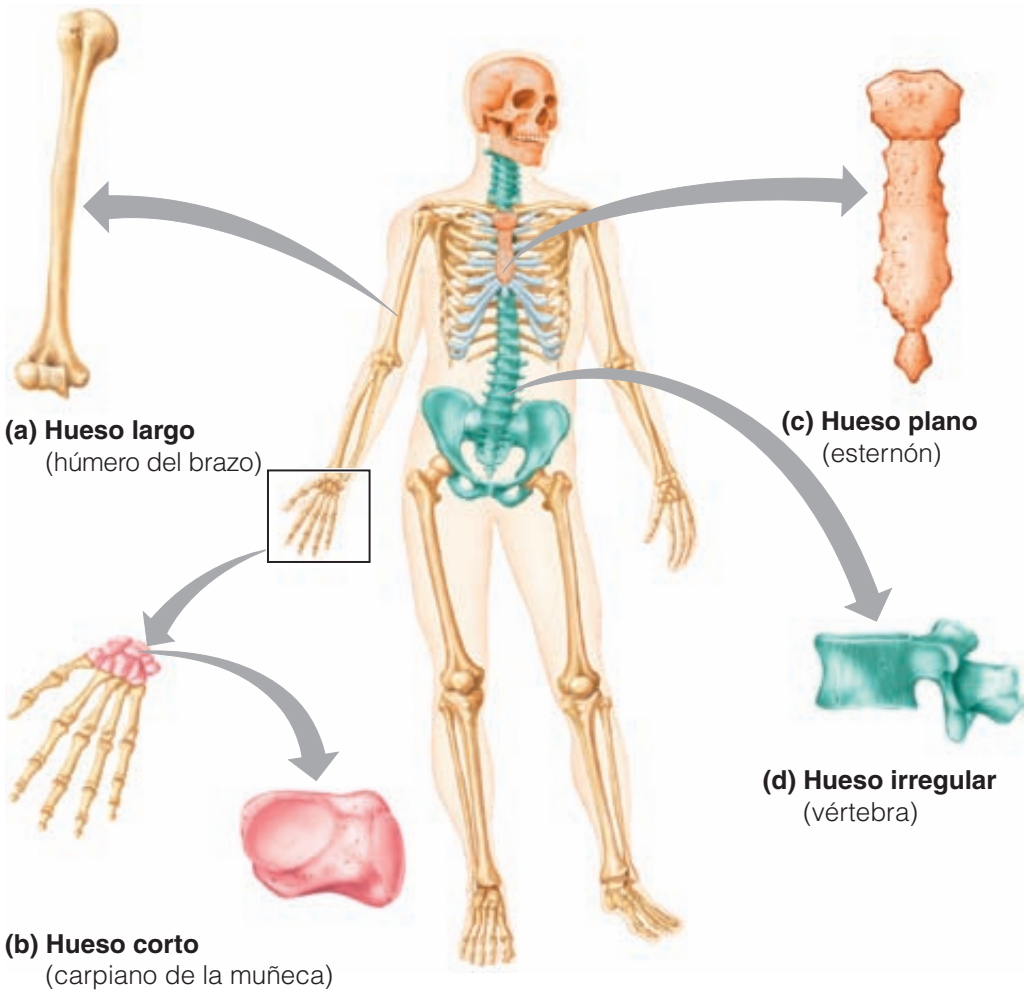


FIGURA 5.1 **Clasificación de los huesos según su forma.**

Las **epífisis** son las terminaciones del hueso largo. Cada epífisis consta de una fina capa de hueso compacto que aloja una zona llena de hueso esponjoso. El **cartílago articular,** en vez de un periostio, cubre su superficie externa. Puesto que el cartílago articular es cartílago liso de hialina, proporciona una superficie suave y resbaladiza que reduce la fricción en las superficies articulares.

En los huesos adultos, hay una fina línea de tejido óseo que abarca la epífisis y tiene un aspecto algo distinto del resto del hueso en esa zona. Se trata de **la línea epifisaria.** La línea epifisaria es un remanente de **la placa epifisaria** (una placa plana de cartílago de hialina) que se ve en un hueso joven en crecimiento. Las placas epifisarias provocan el crecimiento longitudinal de los huesos largos. Al final de la pubertad, cuando las hormonas inhiben el crecimiento de los huesos largos, las placas epifisarias ya han sido totalmente sustituidas por hueso, de modo que sólo han dejado las líneas epifisarias para marcar su ubicación anterior.

En los adultos, la cavidad de la diáfisis es principalmente una zona de almacenamiento de tejido adiposo (grasa); se denomina la **cavidad de tuétano amarillo** o **medular.** Sin embargo, en los bebés esta zona forma células sanguíneas, y en ella se encuentra el tuétano rojo. En los huesos adultos, el **tuétano rojo** queda confinado a las cavidades del hueso esponjoso de los huesos planos y a las epífisis de algunos huesos largos.

Incluso cuando se mira a los huesos sin mucha atención, uno puede ver que su superficie no es suave sino rugosa, con bultos, agujeros y crestas. Estas **marcas óseas,** descritas e ilustradas en la Tabla 5.1, revelan el lugar en que se unen los músculos, tendones y ligamentos, así como el lugar por donde pasan los vasos sanguíneos y los nervios. Existen dos categorías de marcas óseas: (a) *proyecciones* (o *apófisis*), que

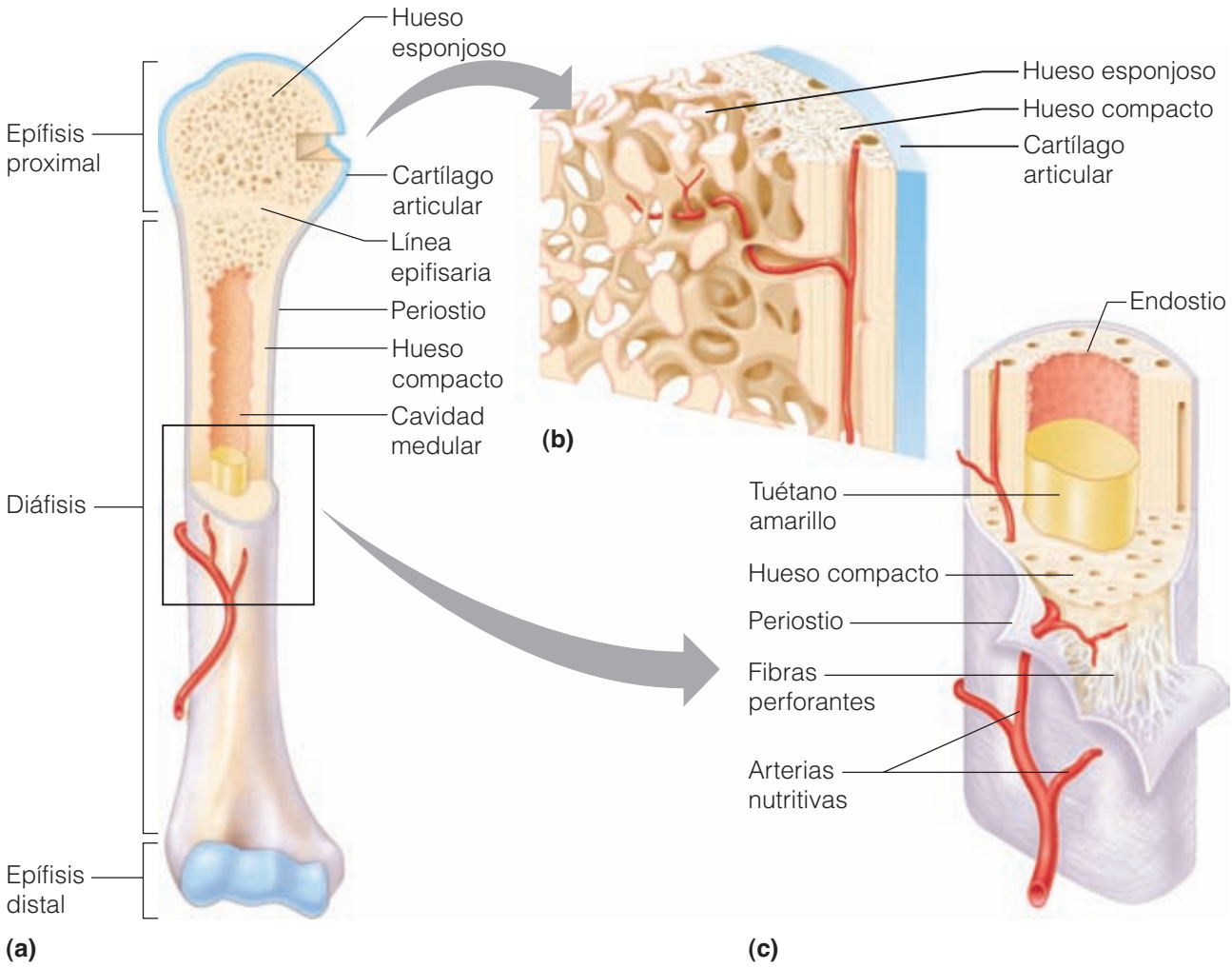


FIGURA 5.2 Estructura de un hueso largo (húmero). **(a)** Vista anterior con un corte longitudinal en el extremo proximal. **(b)** Vista tridimensional en forma de cuña del hueso esponjoso y del hueso compacto de la epífisis. **(c)** Sección transversal de la diáfisis. Tenga en cuenta que la superficie externa de la diáfisis está cubierta por un periostio, pero la superficie articular de la epífisis (véase b) está cubierta por cartílago de hialina.

crecen fuera de la superficie ósea y (b) *depresiones* (o *cavidades*), que son escotaduras en el hueso. No es necesario que aprendas estos términos ahora, pero pueden ayudarte a recordar algunas de las marcas específicas de los huesos sobre los que se hablará más adelante en este capítulo.

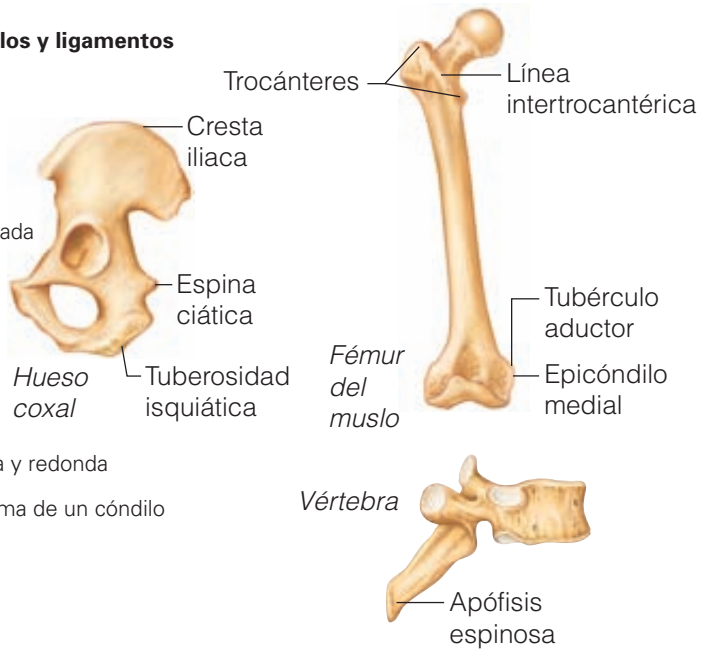
Hay un pequeño truco para recordar algunas de las marcas óseas que figuran en la tabla: todos los términos que empiezan por **T** son proyecciones. Los términos que empiezan por **F** (excepto *faceta*) son depresiones.

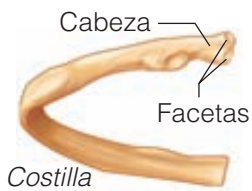
Anatomía microscópica

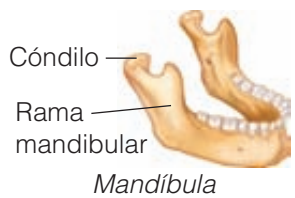
Al ojo humano, el hueso esponjoso parece estar abierto y lleno de púas, mientras que el hueso compacto para ser muy denso. Sin embargo, al mirar el tejido óseo compacto a través de un microscopio, podemos comprobar que posee una estructura compleja (Figura 5.3). Está conectado mediante pasarelas por donde pasan los nervios y los vasos sanguíneos, entre otros, que proporcionan nutrientes a las células óseas vivas así como una vía para la eliminación de desechos. Las células óseas maduras, **osteocitos,** se encuentran

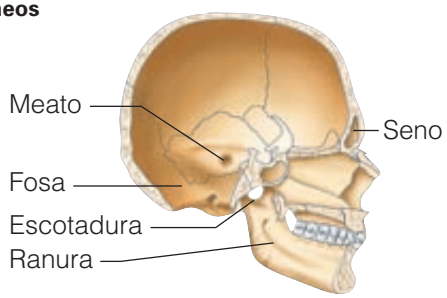
TABLA 5.1 Marcas óseas

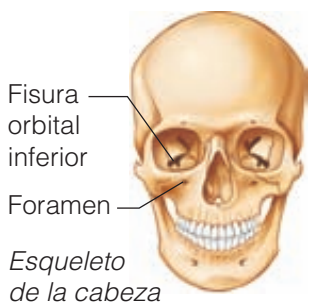
Nombre de la marca ósea	Descripción	Ilustración
Proyecciones que son los puntos de unión de los músculos y ligamentos		
Tuberosidad	Proyección grande y redonda; puede estar raspada	
Cresta	Puente estrecho de hueso; normalmente prominente	
Trocánter	Apófisis muy grande, despuntada y con forma irregular (los únicos ejemplos se encuentran en el fémur)	
Línea	Estrecho puente óseo; menos prominente que una cresta	
Tubérculo	Proyección o apófisis pequeña y redonda	
Epicóndilo	Zona elevada situada por encima de un cóndilo	
Espina	Proyección fina y afilada, a menudo puntiaguda	
Apófisis	Cualquier prominencia ósea	
Proyecciones que ayudan a formar las articulaciones		
Cabeza	Expansión ósea en un cuello estrecho	
Faceta	Superficie articular suave y casi plana	
Cóndilo	Proyección articular redonda	
Rama mandibular	Barra de hueso con forma de brazo	
Depresiones y aberturas que permiten el paso de los nervios y vasos sanguíneos		
Meato	Pasarela en canal	
Seno	Cavidad dentro de un hueso, llena de aire y rodeada de una membrana mucosa	
Fosa	Depresión ósea superficial como una cuenca, que suele servir de superficie articular	
Ranura	Surco	
Fisura	Abertura estrecha, como una hendidura	
Foramen	Abertura redonda u oval a través de un hueso	











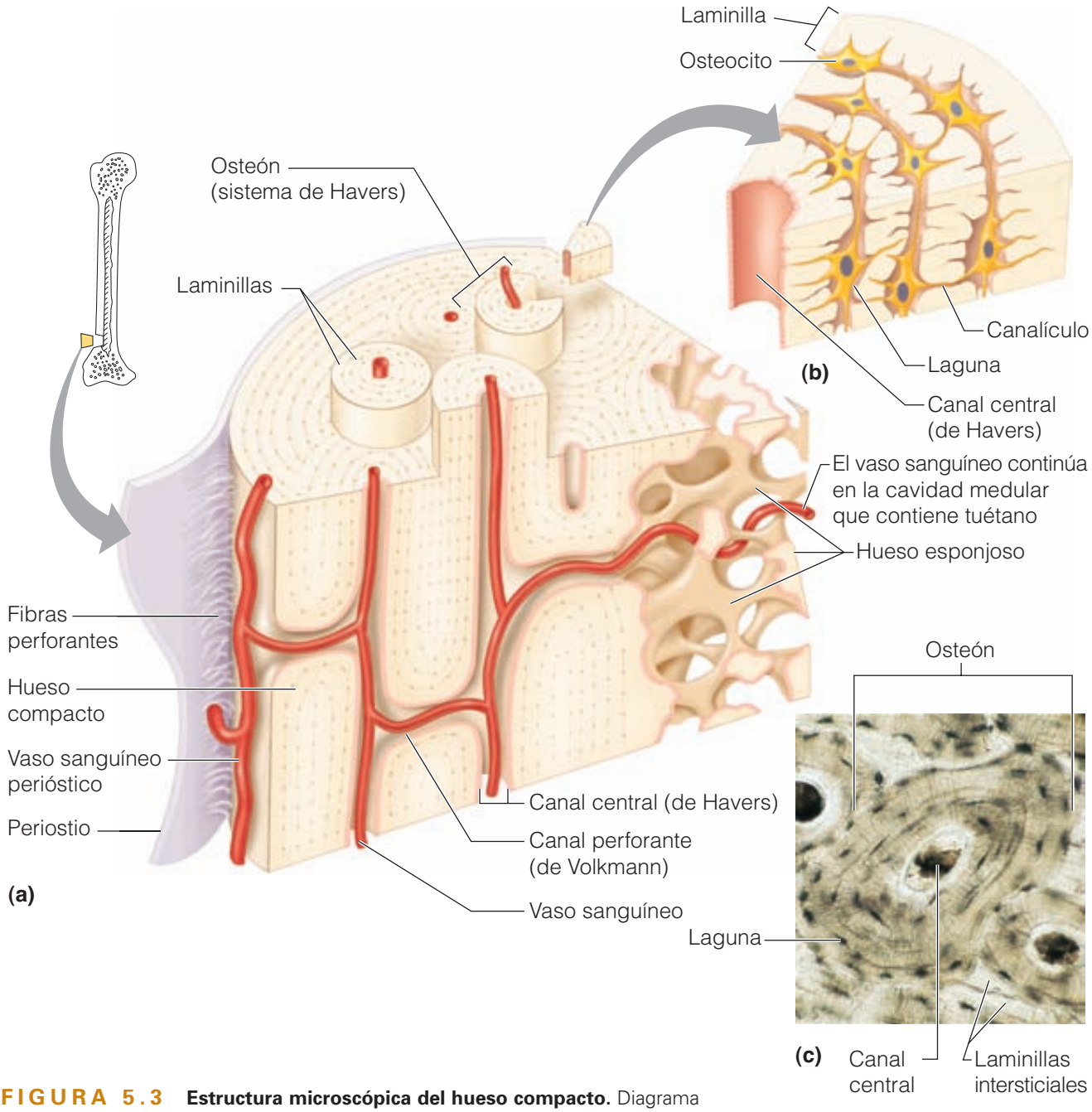


FIGURA 5.3 Estructura microscópica del hueso compacto. Diagrama de un segmento con forma de cuña de hueso compacto. (El recuadro muestra una vista mucho más ampliada.) Tenga en cuenta la posición de los osteocitos en las lagunas (cavidades de la matriz).

dentro de la matriz en diminutas cavidades denominadas **lagunas.** Las lagunas se organizan en círculos concéntricos denominados **laminillas** en torno a los **canales centrales (de Havers).** Cada complejo, que consta de anillos de canal central y de matriz, se denomina **osteón** (o **sistema de Havers**). Los canales centrales recorren la matriz ósea longitudinalmente, guiando a los vasos sanguíneos y a los nervios hacia todas las zonas del hueso. Los canales diminutos, **canalículos,** se irradian hacia fuera desde los canales centrales hasta todas las lagunas. Los canalículos forman un sistema de transporte que conecta todas las células óseas al suministro de nutrientes a través de la matriz ósea dura. Debido a esta elaborada red de canales, las células óseas están

bien alimentadas a pesar de la dureza de la matriz, y las lesiones óseas se curan bien y con rapidez. La ruta de comunicación desde fuera del hueso hasta el interior (y los canales centrales) se completa mediante los **canales perforantes (de Volkmann),** que recorren el hueso compacto en los ángulos correctos hasta la diáfisis.

El hueso es uno de los materiales más resistentes del cuerpo, y aunque es relativamente ligero, posee una notable capacidad para resistir la tensión y otras fuerzas que actúen sobre él. La naturaleza nos ha proporcionado un sistema de apoyo extremadamente fuerte y excepcionalmente sencillo (casi rudimentario) sin despreciar la movilidad. Las sales cálcicas depositadas en la matriz proporcionan al hueso su dureza, que resiste la compresión. Las partes orgánicas (especialmente las fibras de colágeno) proporcionan flexibilidad ósea y una gran resistencia a la tensión.

¿LO HAS ENTENDIDO?

3. ¿Cuál es el nombre anatómico del eje de un hueso largo? ¿Y el de sus extremos?
4. ¿En qué se diferencia la estructura de un hueso compacto de la de un hueso esponjoso a simple vista?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Formación, crecimiento y remodelación óseos

El esqueleto está formado por dos de los tejidos más fuertes y resistentes del cuerpo; los cartílagos y los huesos. En los embriones, el esqueleto está hecho principalmente de cartílago de hialina, pero en los niños pequeños la mayor parte del cartílago ha sido sustituido por hueso. El cartílago se mantiene únicamente en zonas aisladas, como el puente de la nariz, partes de las costillas y las articulaciones.

Exceptuando los huesos planos, que se forman en las membranas fibrosas, la mayoría de los huesos se desarrollan empleando estructuras de cartílago de hialina como sus "modelos". En otras palabras, este proceso de formación ósea (u **osificación**) implica dos fases principales (Figura 5.4a). En primer lugar, el modelo de cartílagos de hialina está cubierto por completo de matriz ósea (un "collar" de huesos) mediante células de formación ósea denominadas **osteoblastos.** Así, durante un breve periodo, el feto posee "huesos" de cartílago cercados por huesos "óseos". A continuación, el modelo de cartílagos de hialina cercados se asimila, de modo que se abre una cavidad medular en el nuevo hueso formado.

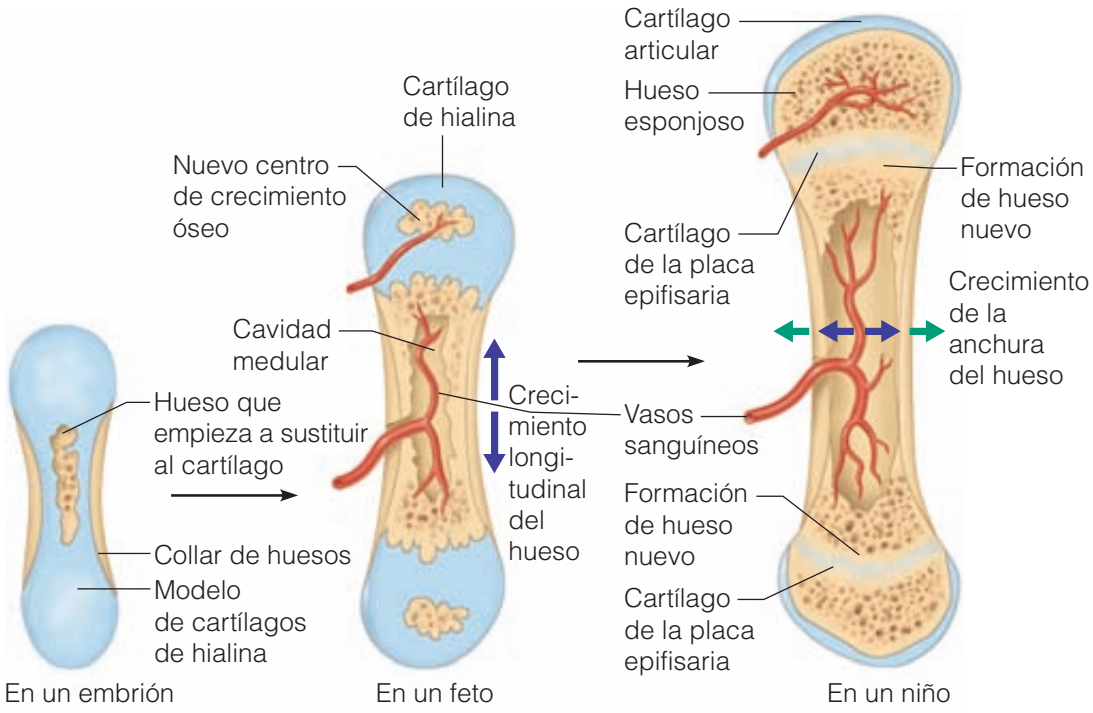
Para el nacimiento o poco después, la mayoría de los modelos de cartílagos de hialina se han convertido en hueso excepto dos regiones: los cartílagos articulares (que cubren las terminaciones óseas) y las placas epifisarias. Continuamente se forma cartílago nuevo en la cara externa del cartílago articular y en la superficie de la placa epifisaria que enfrenta la terminación ósea (lejos de la cavidad medular). Al mismo tiempo, el cartílago antiguo que linda con la cara interna del cartílago articular y la cavidad medular se rompe y se sustituye por la matriz ósea (Figura 5.4b). Los huesos en crecimiento también deben ensancharse a medida que se hacen más largos. ¿Cómo se ensanchan? Simplemente, los osteoblastos del periostio añaden tejido óseo a la cara externa de la diáfisis a medida que los osteoclastos del endostio eliminan hueso de la cara interna de la pared de la diáfisis (véase la Figura 5.4b). Puesto que estos dos procesos se producen casi al mismo ritmo, la circunferencia del hueso largo aumenta y el hueso se ensancha. Este proceso por el que los huesos aumentan su diámetro se denomina *crecimiento aposicional.* Este proceso de crecimiento óseo longitudinal se controla mediante hormonas, entre las que destacan la *hormona del crecimiento* y, durante la pubertad, las *hormonas sexuales.* Este crecimiento termina en la adolescencia, cuando las placas epifisarias se han convertido por completo en hueso.

Muchas personas piensan erróneamente que los huesos son estructuras muertas que nunca cambian tras finalizar el crecimiento óseo longitudinal. Ninguna afirmación podría ser más falsa; el hueso en un tejido dinámico y activo. Los huesos se remodelan continuamente en respuesta a los cambios de dos factores: (1) los niveles de calcio en sangre y (2) el empuje de la gravedad y los músculos sobre el esqueleto. A continuación, se explica cómo influyen estos factores en los huesos.

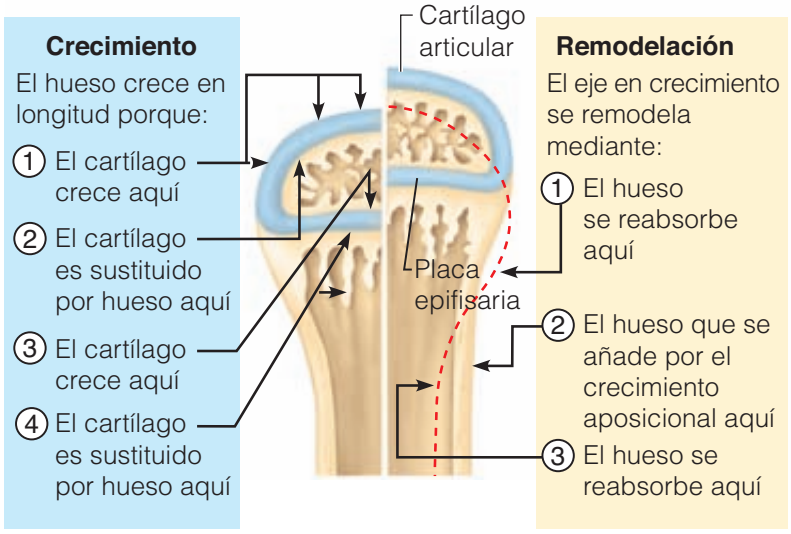
Cuando los niveles de calcio en la sangre disminuyen por debajo de los niveles homeostáticos, las glándulas paratiroideas (ubicadas en la garganta) se estimulan para que liberen la hormona paratiroidea (PTH) en la sangre. La PTH activa los **osteoclastos,** células gigantes destructoras de los huesos ubicadas en el esqueleto, para romper la matriz ósea y liberar iones de calcio en la sangre. Cuando los niveles de calcio en la sangre son demasiado elevados *(hipercalcemia),* el calcio se deposita en la matriz ósea como sales cálcicas óseas.

La **remodelación ósea** es esencial si los huesos deben retener fuerza y proporciones normales durante el crecimiento óseo a medida que el cuerpo crece en peso y altura. También representa el hecho de que los huesos se vuelven más gruesos y forman grandes proyecciones para aumentar su fortaleza en zonas en las que se unen los músculos abultados. En tales puntos, los osteoblastos establecen una nueva matriz y se que-

P *(a) ¿Qué tipos de células específicas forman el collar de huesos? (b) ¿Qué aspecto crees que tendría un hueso largo al final de la adolescencia si no se produjese la remodelación ósea?*



(a)

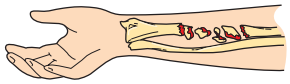
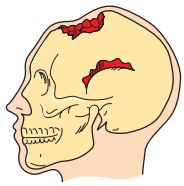
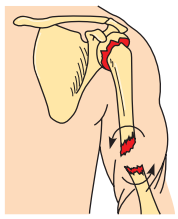
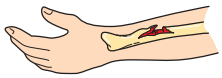


(b)

FIGURA 5.4 **Formación y crecimiento de los huesos largos. (a)** Fases de formación de los huesos largos en un embrión, feto y niño pequeño. **(b)** Los sucesos indicados a la izquierda describen el proceso de osificación que se produce en los cartílagos articulares y en las placas epifisarias a medida que el hueso crece en longitud. Los sucesos indicados a la derecha revelan el proceso de crecimiento aposicional que se produce durante el crecimiento de los huesos largos para mantener unas proporciones óseas adecuadas aumentando el diámetro de los huesos largos.

R *(a) Los osteoblastos forman el collar de huesos. (b) Tendrá un eje relativamente corto y fino con unos extremos alargados con forma de palo.*

TABLA 5.2 Tipos comunes de fracturas

Tipo de fractura	Ilustración	Descripción	Comentario
Conminuta		El hueso se rompe en muchos fragmentos	Especialmente común en las personas mayores, cuyos huesos son más quebradizos
Compresión		El hueso se tritura	Habitual en los huesos porosos (es decir, los huesos osteoporóticos de las personas mayores)
Deprimida		La parte de hueso roto es presionado hacia el interior	Típica fractura del esqueleto de la cabeza
Impactada		Las terminaciones de hueso roto ejercen presión entre sí	Suele producirse cuando uno intenta bajar las escaleras y se cae con los brazos extendidos
Espiral		Se produce una fractura irregular cuando se aplica un exceso de fuerzas de torsión en un hueso	Fractura deportiva habitual
En rama verde		El hueso de rompe por completo, en gran medida de forma parecida a como se rompe una rama verde	Común en los niños, cuyos huesos son más flexibles que los de los adultos

dan atrapados dentro de ésta. (Una vez atrapados, se convierten en osteocitos, o células óseas maduras.) En contraste, los huesos de las personas postradas en la cama o físicamente inactivas tienden a perder masa y a atrofiarse porque dejan de experimentar tensión.

Estos dos mecanismo de control (absorción de calcio y remodelación ósea) funcionan juntos. La PTH determina *cuándo* (o *si*) va a romperse o formarse el hueso en respuesta a la necesidad de más o menos iones de calcio en la sangre. Las tensiones del músculo que empujan y la gravedad que ejerce fuerza sobre el esqueleto determinan *dónde* se romperá o formará la matriz ósea de modo que el esqueleto pueda permanecer tan fuerte y vital como sea posible.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El **raquitismo** es una enfermedad infantil en la que los huesos no se calcifican. Como resultado, los huesos se ablandan, y los de las piernas que soportan el peso del cuerpo muestran una clara curva. El raquitismo suele deberse a la falta de calcio en la dieta o a la carencia de vitamina D, que es necesaria para absorber el calcio en el flujo sanguíneo. El raquitismo no es muy habitual en Estados Unidos. La leche, el pan y otros alimentos están enriquecidos con vitamina D, y la mayoría de los niños beben suficiente leche enriquecida con calcio. Sin embargo, puede producirse en lactantes alimentados por madres que han presentado carencias de vitamina D durante un largo y gris invierno, y continúa siendo un problema en algunas partes del mundo. ▲

Fracturas óseas

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Para su masa relativamente baja, los huesos son increíblemente fuertes. Ten en cuenta, por ejemplo, las fuerzas de resistencia en los chutes de fútbol y en el *hockey* profesional. A pesar de su notable fuerza, los huesos son propensos a sufrir **fracturas,** o roturas, durante toda la vida. En la juventud, la mayoría de las fracturas se deben a traumas excepcionales que retuercen o machacan los huesos. Las actividades deportivas, como el fútbol, el patinaje y el esquí, ponen en peligro la integridad de los huesos, así como los accidentes de tráfico. Durante la vejez, los huesos se vuelven más finos y se debilitan, de modo que las fracturas se producen con mayor frecuencia.

Una fractura en la que el hueso se rompe de forma limpia, pero no penetra en la piel es una *fractura cerrada (o simple)*. Cuando las terminaciones óseas rotas penetran en la piel, la fractura es abierta (o *compuesta*). Algunos de los tipos de fractura más comunes se ilustran y se describen en la Tabla 5.2. ▲

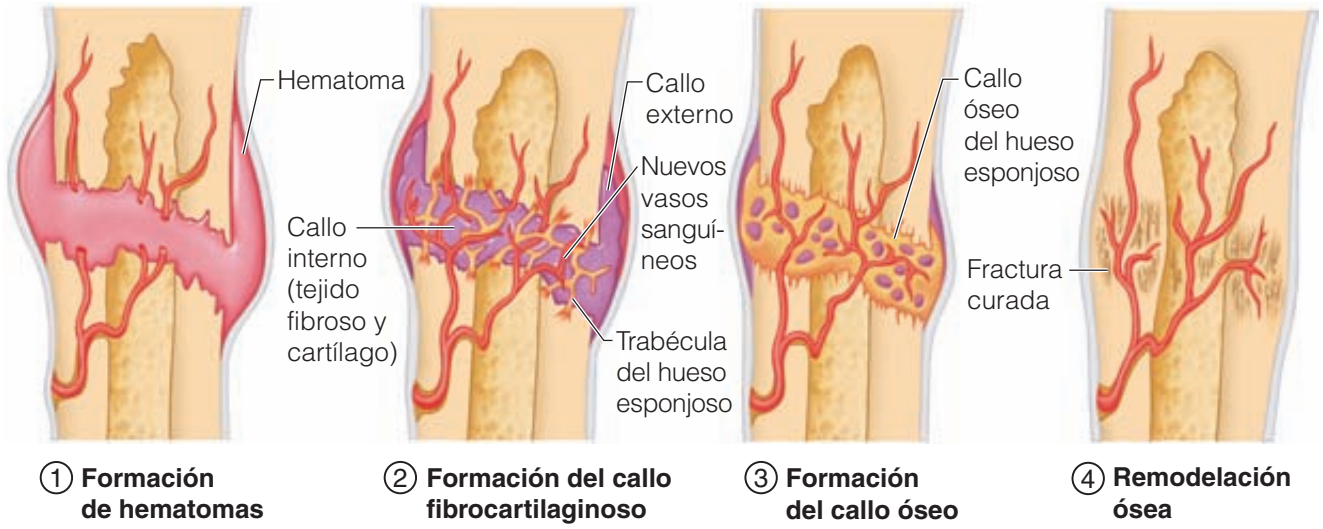


FIGURA 5.5 **Fases de la curación de una fractura ósea.**

Una fractura se trata mediante **reducción,** que es la realineación de las terminaciones óseas rotas. En la *reducción cerrada,* el médico vuelve a colocar manualmente las terminaciones óseas en su posición normal. En las *reducciones abiertas,* se realiza una cirugía y las terminaciones óseas se unen y se aseguran con clavos o cables. Tras la reducción del hueso roto, éste se inmoviliza mediante una escayola o tracción para que empiece el proceso de curación. El tiempo de curación de una fractura simple es de entre seis y ocho semanas, pero es mucho mayor en los huesos grandes y en los huesos de las personas mayores (debido a que presentan una peor circulación).

La reparación de la fracturas óseas implica cuatro fases principales (Figura 5.5):

1. **Se forma un hematoma.** Los vasos sanguíneos se rompen cuando se fractura el hueso. En consecuencia, se forma una hinchazón llena de sangre denominada **hematoma.** Las células óseas privadas de nutrientes mueren.
2. **La fractura se entablilla mediante un callo fibrocartilaginoso.** Como se describe en el Capítulo 3, una de las primeras fases de la reparación de tejido (y la reparación ósea sin ninguna excepción) es el crecimiento de nuevos capilares (tejido de granulación) en la sangre coagulada donde se encuentran los daños y desechos del tejido muerto mediante los fagocitos. A medida que esto continúa, las células de tejido conectivo de varios tipos forman una masa de tejido de reparación, el **callo fibrocartilaginoso,** que contiene varios elementos (algo de matriz cartilaginosa, algo de matriz ósea y algunas fibras de colágeno) y actúa para "entablillar" el hueso roto, de modo que cierra el hueco.
3. **Se forma el callo óseo.** A medida que se van desplazando más osteoblastos y osteoclastos a la zona y se multiplican, el callo fibrocartilaginoso se sustituye gradualmente mediante uno hecho de hueso esponjoso, el **callo óseo**.
4. **Se produce la remodelación ósea.** Durante las siguientes semanas o meses, según el tamaño y la ubicación de la fractura, el callo óseo se remodela en respuesta a las tensiones mecánicas que se aplican sobre él, de modo que forma un "parche" fuerte y permanente en el lugar de la fractura.

¿LO HAS ENTENDIDO?

5. Los huesos no empiezan siendo huesos. ¿Qué son al principio?
6. ¿Qué estímulo (PTH [hormona] o fuerzas mecánicas que actúan sobre el esqueleto) es más importante para mantener los niveles de calcio de la sangre que para mantener la fortaleza ósea?
7. Si los osteoclastos de un hueso largo son más activos que los osteoblastos, ¿qué cambio es probable que se produzca en la masa ósea?
8. ¿Qué es una fractura? ¿Qué dos tipos de fracturas son especialmente comunes en las personas mayores?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

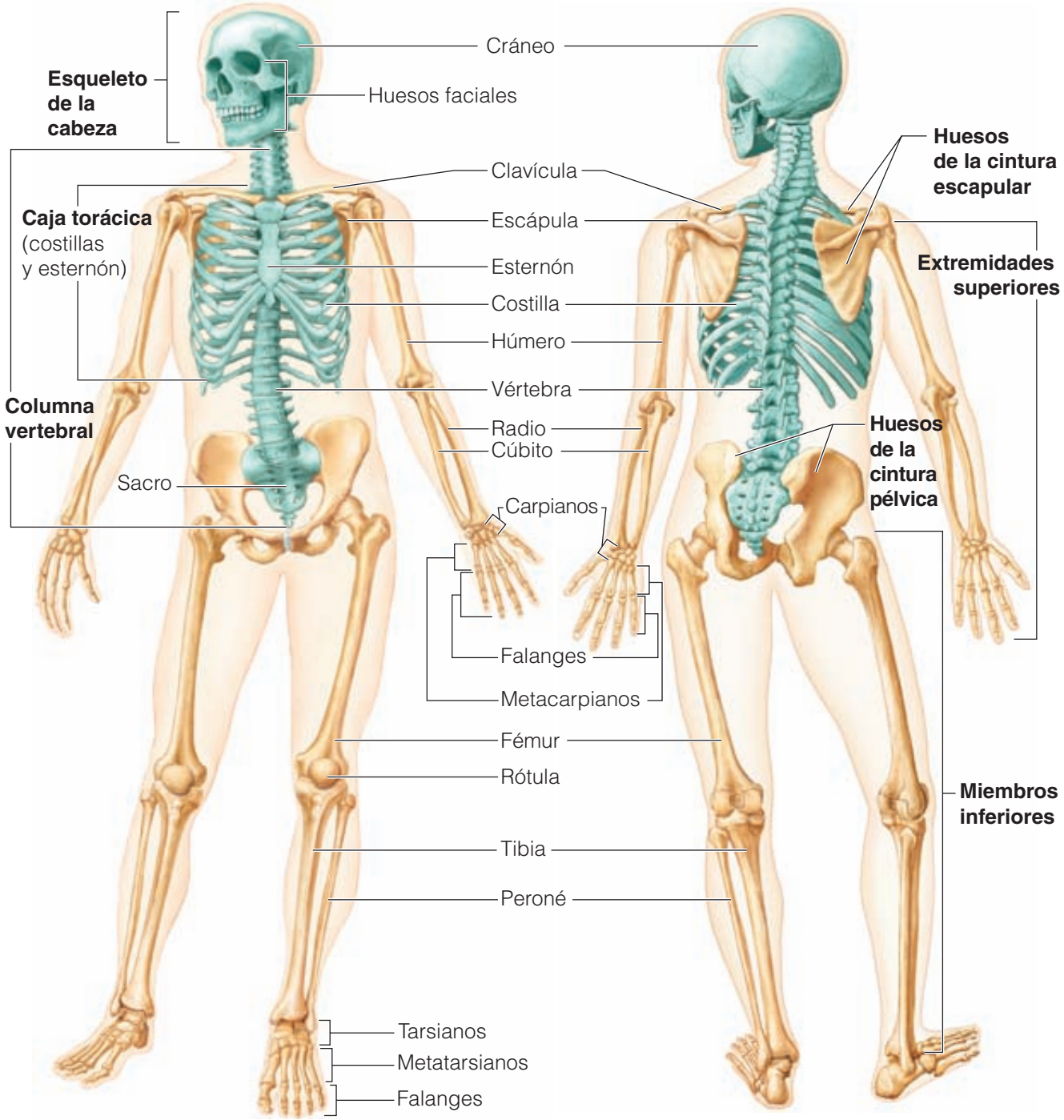


FIGURA 5.6 **El esqueleto humano.** Los huesos de esqueleto axial aparecen en color verde. Los huesos del esqueleto apendicular aparecen en color dorado.

Esqueleto axial

Como se ha mencionado anteriormente, el esqueleto se divide en dos partes, los *esqueletos axial* y *apendicular*. El esqueleto axial, que forma el eje longitudinal del cuerpo, aparece de color verde en la Figura 5.6. Puede dividirse en tres partes: el *cráneo,* la *columna vertebral* y el *tórax óseo*.

Esqueleto de la cabeza

El **cráneo** está formado por dos grupos de huesos. El **cráneo** propiamente dicho rodea y protege el tejido cerebral frágil. Los **huesos faciales** mantienen los ojos en una posición anterior y permiten que los músculos faciales expresen nuestros sentimientos mediante sonrisas o ceños fruncidos. Todos excepto uno de los huesos de la cabeza están unidos mediante *suturas*, que son articulaciones de interbloqueo inmóviles. Únicamente la mandíbula (quijada) se une al resto del esqueleto de la cabeza mediante una articulación totalmente móvil.

Cráneo

El cráneo propiamente dicho, con forma de caja, consta de ocho grandes huesos planos. Exceptuando dos pares de huesos (el parietal y el temporal), todos los demás son individuales.

Hueso frontal El hueso frontal forma la frente, las proyecciones óseas por debajo de las cejas y la parte superior de la órbita de cada ojo (Figura 5.7).

Huesos parietales Los pares de huesos parietales forman la mayor parte de las paredes superior y laterales del cráneo propiamente dicho (véase la Figura 5.7). Se encuentran en el centro del cráneo en la **sutura sagital** y forman la **sutura coronal,** donde se encuentran con el hueso frontal.

Huesos temporales Los huesos temporales permanecen por debajo de los huesos parietales; se unen a ellos en las **suturas escamosas.** Algunas marcas óseas importantes aparecen en el hueso temporal (véase la Figura 5.7):

- El **meato acústico externo** es el canal que conduce hasta el tímpano y el oído medio. Es la vía por la que el sonido entra al oído.
- La **apófisis estiloides,** una afilada proyección con forma de aguja, es justo inferior al meato acústico externo. Muchos músculos del cuello utilizan la apófisis estiloides como punto de unión.
- La **apófisis cigomática** es un fino puente óseo que une el pómulo (hueso cigomático) por su parte anterior.
- La **apófisis mastoidea,** que está llena de cavidades de aire (senos mastoideos), es una rugosa proyección anterior e inferior al meato acústico externo. Proporciona un punto de unión a algunos músculos del cuello.
  Los senos mastoideos se encuentran tan cerca del oído medio, lugar con un gran riesgo de infecciones, que también pueden infectarse, dando lugar a una enfermedad conocida como *mastoiditis*.
  Asimismo, esta zona se encuentra tan cerca del cerebro que la mastoiditis puede extenderse hasta el cerebro.
- El **agujero yugular,** en la unión de los huesos occipital y temporal (Figuras 5.8 y 5.9), permite el paso de la vena yugular, la mayor vena de la cabeza, que drena el cerebro. Justo en su parte anterior, en la cavidad craneal, se encuentra el **meato acústico interno** (véase la Figura 5.8), que transmite los nervios craneales VII y VIII (los nervios faciales y vestibulococleares). En la parte anterior al agujero yugular del punto inferior del esqueleto de la cabeza se encuentra el **canal carotídeo** (véase la Figura 5.9), a través del cual pasa la arteria carótida interna, que riega con sangre la mayor parte del cerebro.

Hueso occipital Si observas las Figuras 5.7, 5.8 y 5.9, verás que el hueso occipital es el hueso que se encuentra en la parte más superior del cráneo. Forma el suelo y la parte trasera de la pared del esqueleto de la cabeza.
El hueso occipital se une a los huesos parietales por la parte anterior en la **sutura lambdoidea.** En la base del hueso occipital hay una abertura grande, el **agujero magno** (literalmente, "agujero grande"). El agujero magno rodea la parte inferior del cerebro y permite la conexión entre la médula espinal y el cerebro. A cada lado del agujero magno se encuentran los **cóndilos occipitales** con forma de riñón (véase la Figura 5.9), que descansan sobre la primera vértebra de la columna vertebral.

Hueso esfenoides Tiene forma de mariposa y abarca el ancho de la cabeza y forma parte del suelo de la cavidad craneal (véase la Figura 5.8). En medio del esfenoides hay una pequeña depresión, la **silla turca,** que forma un cómodo alojamiento para la glándula pituitaria. El **foramen oval,** una gran abertura oval alineada con la terminación posterior de la silla turca (Figura 5.9), permite que las fibras del nervio craneal V (el trigémino) pasen a los músculos de masticación de la quijada inferior (mandíbula). Las partes del hueso esfenoides que se ven en la parte exterior y forman parte de las órbitas oculares disponen de dos aberturas importantes, el **canal óptico,** que permite al nervio óptico llegar al ojo, y la **fisura orbital superior** con

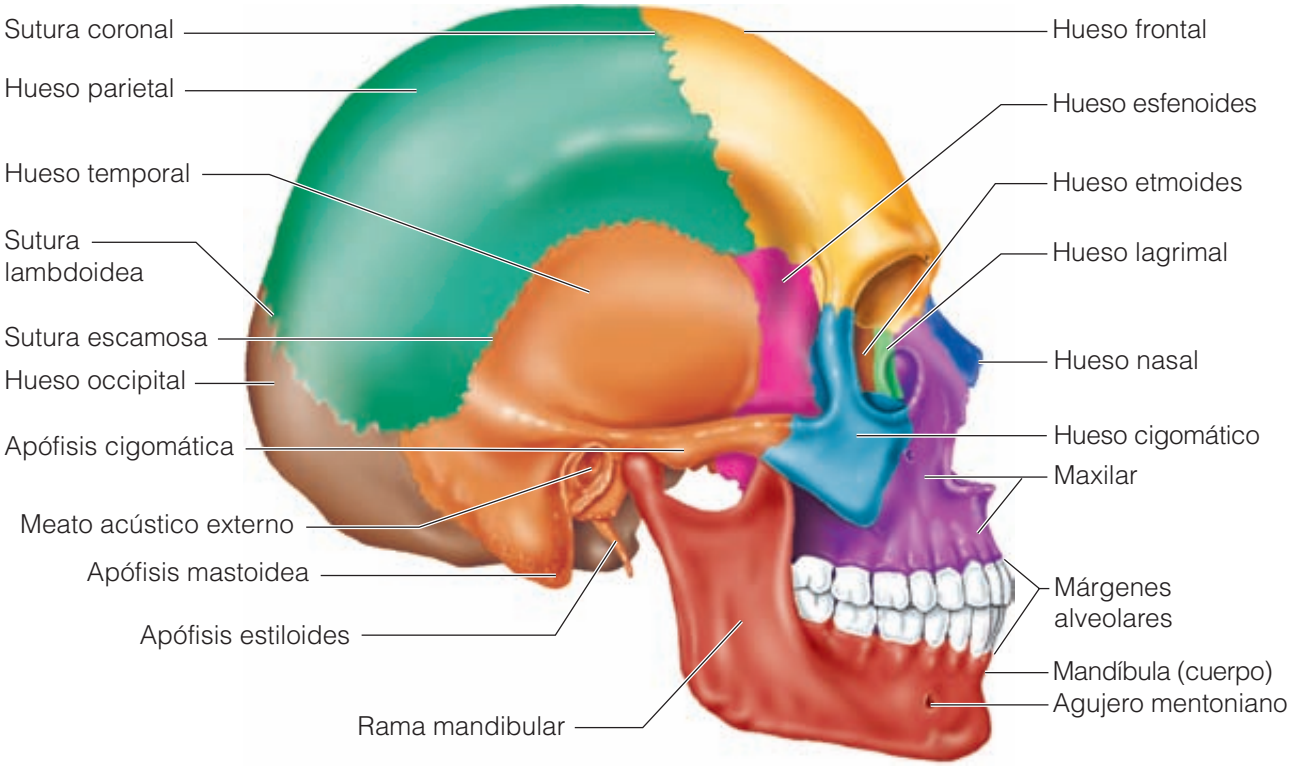


FIGURA 5.7 **Vista lateral del cráneo humano.**

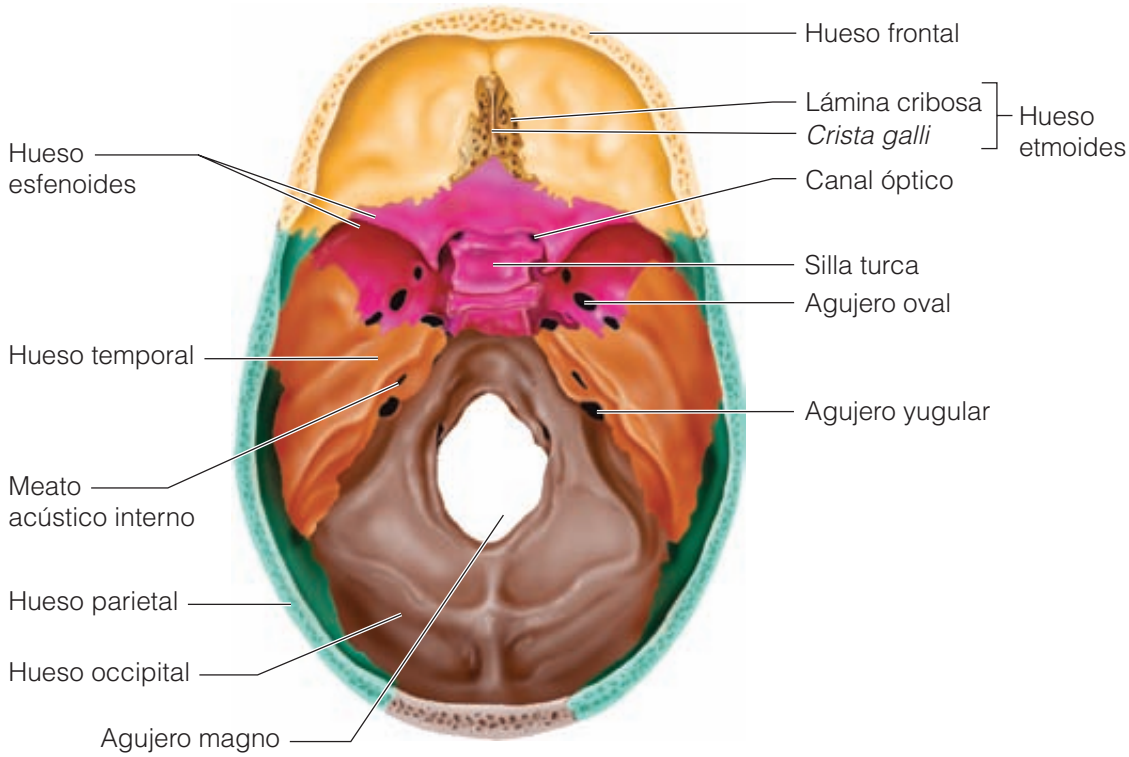


FIGURA 5.8 **Vista superior del cráneo humano (se ha eliminado la parte superior del cráneo).**

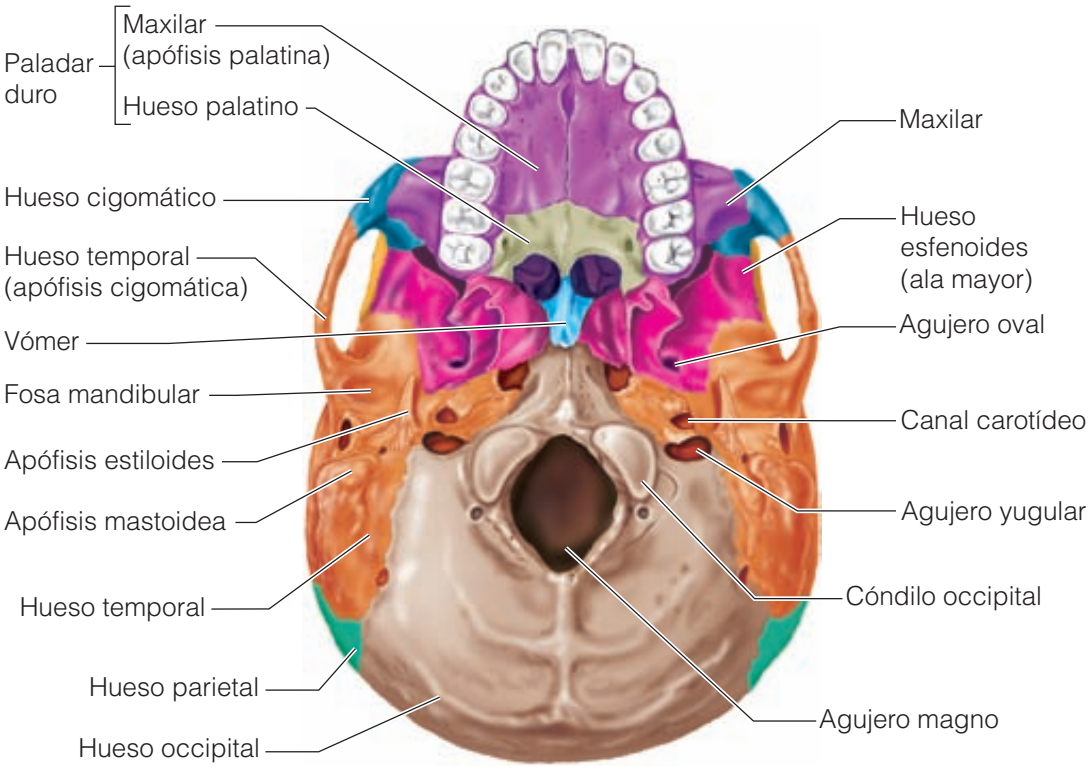


FIGURA 5.9 **Esqueleto de la cabeza humana, vista inferior (se ha extraído la mandíbula).**

forma de hendidura, a través de la cual pasan los nervios craneales que controlan los movimiento oculares (III, IV y VI) (véanse las Figuras 5.7 y 5.11). El centro del hueso esfenoides está conectado por cavidades de aire, los **senos esfenoidales** (Figura 5.10).

Hueso etmoides El hueso etmoides tiene una forma muy irregular y se encuentra en la parte anterior al hueso esfenoides (Figura 5.11; véanse también las Figuras 5.7 y 5.8). Forma el tejado de la cavidad nasal y parte de las paredes centrales de las órbitas.

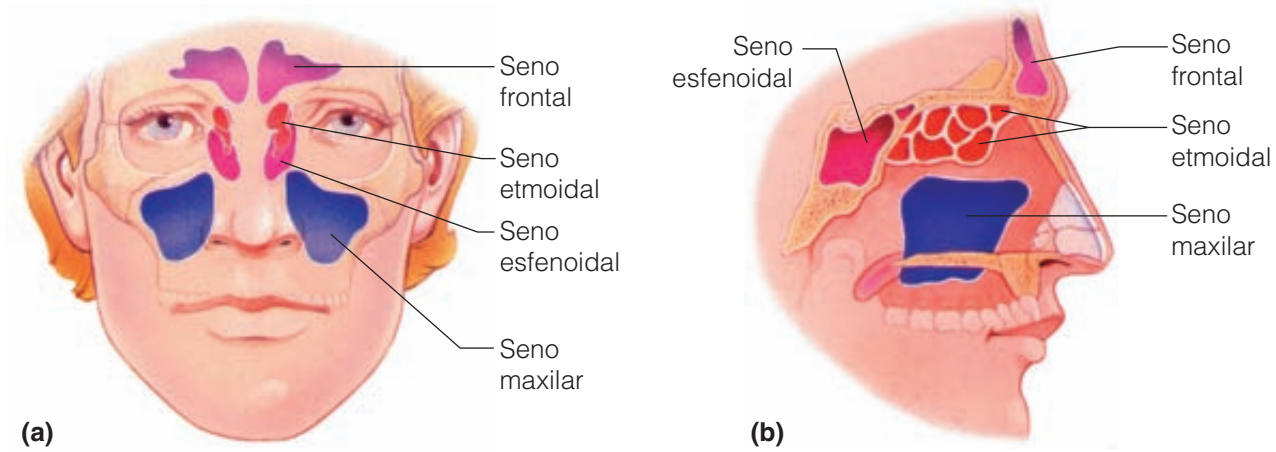


FIGURA 5.10 **Senos paranasales. (a)** Vista anterior **(b)** Vista central.

P *¿Qué hueso se articula con cada uno de los demás huesos faciales?*

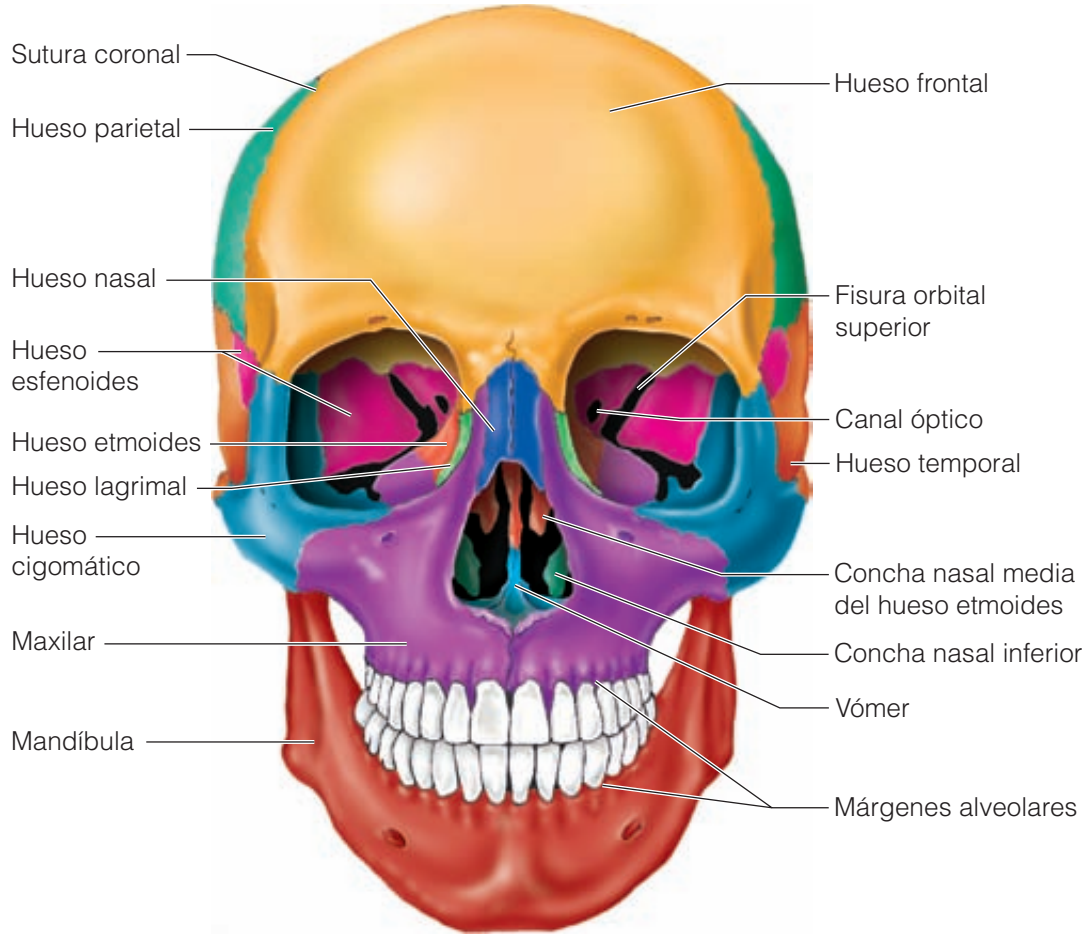


FIGURA 5.11 **Vista anterior del cráneo humano.**

Proyectándose desde su superficie superior encontramos la ***crista galli***, literalmente "cresta de gallina" (véase la Figura 5.8). El revestimiento más externo del cerebro se une a esta proyección. A cada lado de la crista galli hay muchos agujeros pequeños. Estas zonas agujereadas, las **láminas cribosas,** permiten que las fibras nerviosas lleven los impulsos desde los receptores olfativos (olfato) de la nariz hasta el cerebro. Las extensiones del hueso etmoides, las **conchas nasales superior y media,** forman parte de las paredes laterales de la cavidad nasal (véase la Figura 5.11) y aumentan las turbulencias del aire que fluye por las vías nasales.

Huesos faciales

La cara se compone de catorce huesos. Doce son pareados; únicamente la mandíbula y el vómer son individuales. Las Figuras 5.7 y 5.11 muestran la mayoría de los huesos faciales.

Maxilares Los dos maxilares, o **huesos maxilares,** se fusionan para forman la quijada superior. Todos los huesos faciales excepto la mandíbula se unen a los maxilares; así, son los huesos principales, o "piedras angulares", de la cara. Los maxilares llevan los dientes superiores en el **margen alveolar.**

Las extensiones de los maxilares denominadas **apófisis palatinas** forman la parte anterior del pala-

R *El maxilar.*

dar duro de la boca (véase la Figura 5.9). Al igual que muchos otros huesos faciales, los maxilares contienen senos, que drenan las vías nasales (véase la Figura 5.10). Estos **senos paranasales,** cuyo nombre revela su posición rodeando la cavidad nasal, aligeran los huesos de la cabeza y amplían los sonidos que producimos al hablar. También son los causantes del sufrimiento de muchas personas. Puesto que la mucosa que rodea a estos senos es la continuación de la mucosa de las vías nasales y la garganta, las infecciones que se producen en estas zonas tienden a propagarse a los senos, de modo que provocan *sinusitis*. Según los senos infectados, la persona presentará cefalea o dolor en la quijada superior.

Huesos palatinos Los pares de huesos palatinos están ubicados en la parte posterior de la apófisis palatina de los maxilares. Forman la parte posterior del paladar duro (véase la Figura 5.9). Si estas apófisis palatinas no se fusionan en el centro, se produce el *paladar fisurado*.

Huesos cigomáticos Los huesos cigomáticos suelen denominarse pómulos. También forman una parte de considerable tamaño de las paredes laterales de las órbitas, o cuencas de los ojos.

Huesos lacrimales Los huesos lacrimales son huesos del tamaño de una uña que forman parte de las paredes medias de cada órbita. Cada uno de los huesos lacrimal cuenta con una ranura que sirve de vía para las lágrimas.

Huesos nasales Los pequeños huesos rectangulares que forman el puente de la nariz son los huesos nasales. (La parte inferior del esqueleto de la nariz está hecho de cartílago.)

Hueso vómer El único hueso de la línea central de la cavidad nasal es el vómer. (*Vomer* significa "carro", que hace referencia a la forma del hueso.) El vómer forma la mayor parte del séptum nasal óseo.

Conchas nasales inferiores Las conchas nasales inferiores son huesos finos y curvados que se proyectan en la parte central desde las paredes laterales de la cavidad nasal. (Como se ha mencionado anteriormente, las conchas superior y media son similares, pero son partes del hueso etmoides.)

Mandíbula La mandíbula, o quijada inferior, es el hueso más grande y fuerte de la cara. Se une a los huesos temporales a cada lado de la cara, de modo que forman las únicas articulaciones móviles de la cabeza. Puedes encontrar estas articulaciones colocando los dedos en los pómulos y abriendo y cerrando la boca.

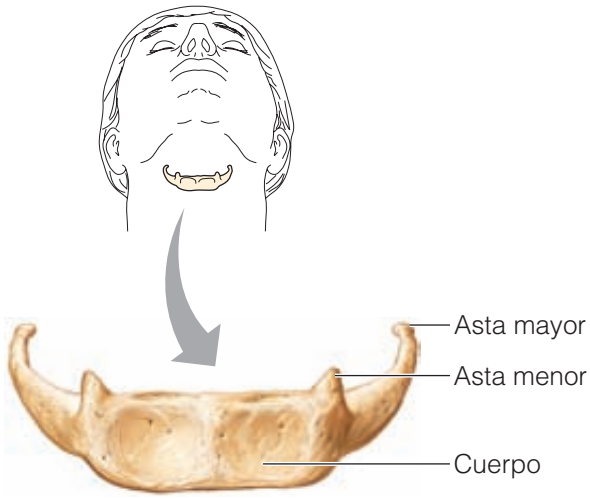


FIGURA 5.12 Vista anterior de la ubicación y estructura anatómicas del hueso hioides.

La parte horizontal de la mandíbula (el *cuerpo*) forma la barbilla. Dos barras rectas de hueso (las *ramas*) se extienden desde el cuerpo para conectar la mandíbula al hueso temporal. Los dientes inferiores descansan en los *alvéolos* (cuencas) del **margen alveolar** en el borde superior del cuerpo mandibular.

El hueso hioides

Aunque no forma parte de la cabeza realmente, el **hueso hioides** (Figura 5.12) está muy relacionado con los huesos temporales y de la mandíbula. El hueso hioides es el único hueso del cuerpo que no se articula directamente con ningún otro hueso. En su lugar, está suspendido en la zona media del cuello a unos 2 cm por encima de la laringe, donde está fijado mediante ligamentos a las apófisis estiloides de los huesos temporales. El hueso hioides en forma de herradura, con un *cuerpo* y dos pares de *astas,* o *cuernos*, sirve como base móvil de la lengua y como punto de unión de los músculos del cuello que ascienden y descienden por la laringe cuando tragamos o hablamos.

Cráneo fetal

El cráneo de un feto o de un recién nacido es distinto del de un adulto (Figura 5.13). Como muestra la Figura 5.13b, la cara de un bebé es muy pequeña en comparación con el tamaño de su cráneo, pero la cabeza en su conjunto es grande en comparación con toda la longitud corporal del bebé. El cráneo adulto sólo representa una octava parte de la longitud corporal en total,

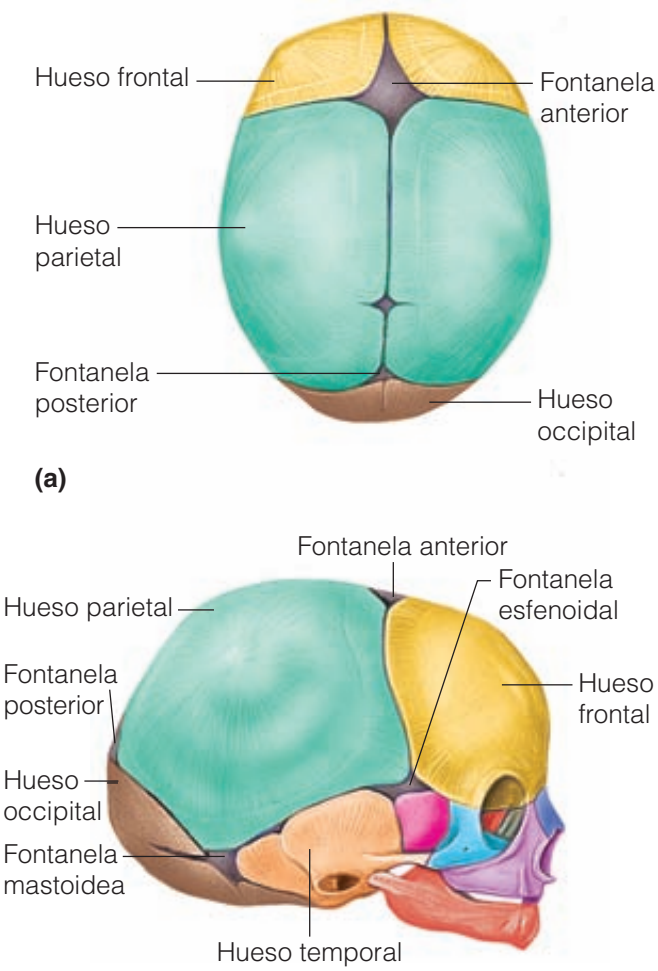


FIGURA 5.13 **Cráneo de un feto. (a)** Vista superior. **(b)** Vista lateral.

mientras que el de un neonato representa una cuarta parte de la longitud de todo su cuerpo. Cuando nace un bebé, su esqueleto aún no está terminado. Como se ha indicado anteriormente, algunas zonas de cartílago de hialina todavía tienen que osificarse, o convertirse en hueso. En el recién nacido, el cráneo también cuenta con regiones fibrosas que aún tienen que convertirse en hueso. Estas membranas fibrosas que conectan los huesos craneales se denominan **fontanelas.** El pulso del bebé puede sentirse en estos "puntos suaves", que explican su nombre (*fontanela* = fuentecilla). La mayor fontanela es la *fontanela anterior* con forma de rombo. Las fontanelas permiten que el esqueleto de la cabeza fetal se comprima ligeramente durante el parto. Asimismo, puesto que son flexibles, permiten que el cerebro del bebé crezca durante la fase más tardía del embarazo y en la primera infancia. Esto no sería posible si los huesos craneales se fusionaran mediante suturas como en el cráneo humano adulto. Las fontanelas van convirtiéndose gradualmente en hueso durante las primera fase de la infancia y puede que ya no sean notables 22 ó 24 meses después del nacimiento.

¿LO HAS ENTENDIDO?

9. ¿Cuáles son las tres partes principales del esqueleto axial?
10. Juan está ejercitando intensamente las únicas articulaciones del cráneo que son móviles. ¿Qué crees que está haciendo?
11. ¿Qué hueso(s) de la cabeza forma(n) la "piedra angular de la cara"?
12. ¿Qué hueso posee la lámina cribosa y la *crista galli*?
13. ¿Qué huesos se conectan mediante la sutura coronal? ¿Y mediante la sutura sagital?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Columna vertebral (espina dorsal)

Como apoyo axial del cuerpo, la **columna vertebral,** o **espina dorsal,** abarca desde el cráneo, al que apoya, hasta la pelvis, donde transmite el peso corporal a los miembros inferiores. Algunas personas piensan que la columna vertebral es una rígida barra de apoyo, pero esa imagen es imprecisa. En vez de eso, la espina dorsal está formada por 26 huesos irregulares conectados y reforzados por ligamentos de modo que el resultado es una estructura curva flexible (Figura 5.14). Recorriendo la cavidad central de la columna vertebral encontramos la delicada médula espinal, que está rodeada y protegida por la columna vertebral.

Antes del nacimiento, la espina dorsal consta de 33 huesos separados que se denominan **vértebras,** pero nueve de éstas acaban fusionándose para formar los dos huesos compuestos, el *sacro* y el *coxis*, que conforman la parte inferior de la columna vertebral. De los 24 huesos, las siete vértebras del cuello son las *vértebras cervicales*, las 12 siguientes son las *vértebras torácicas* y las cinco restantes que soportan la espalda inferior son las *vértebras lumbares.*

- Recordar las horas de picoteo habituales, 7 de la mañana, 12 del medio día y 5 de la tarde, puede

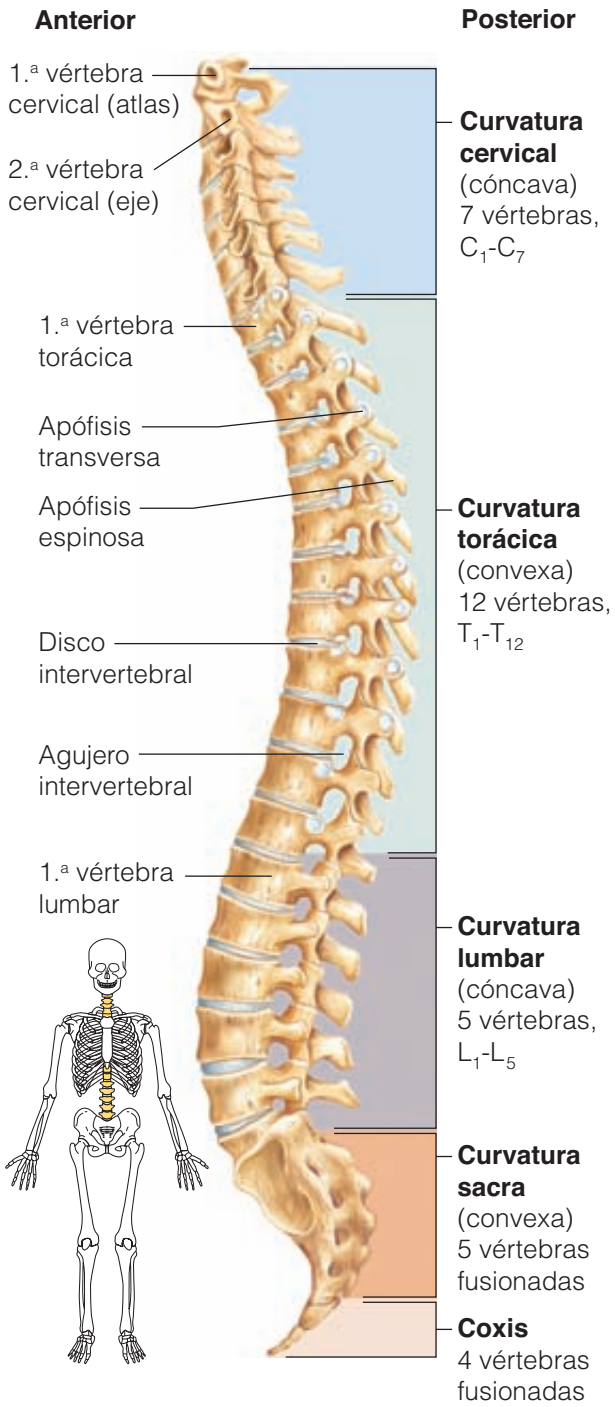


FIGURA 5.14 Columna vertebral. Los discos finos ubicados entre las vértebras torácicas permiten una gran flexibilidad en la región torácica; los discos gruesos entre las vértebras lumbares reducen la flexibilidad. Tenga en cuenta que los términos *convexo* y *cóncavo* hacen referencia a la curvatura de la parte posterior de la columna vertebral.

ayudarte a memorizar el número de huesos de estas tres regiones de la columna vertebral.

Las vértebras individuales están separadas por almohadillas de fibrocartílago flexible **(discos intervertebrales)** que amortiguan las vértebras y absorben los golpes a la vez que aportan flexibilidad a la espina dorsal. En las personas jóvenes, los discos tienen una gran cantidad de agua (en torno al 90 por ciento) y son esponjosos y comprimibles. No obstante, a medida que las personas envejecen, se reduce la cantidad de agua contenida en los discos (al igual que sucede en otros tejidos a lo largo del cuerpo), y los discos se vuelven más duros y menos comprimibles.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El secado de los discos, junto con el debilitamiento de los ligamentos de la columna vertebral, provoca que las personas mayores tengan tendencia a presentar **discos herniados** ("resbalados"). Sin embargo, también puede producirse la herniación al aplicar increíbles fuerzas de torsión en la columna vertebral. Si el disco sobresaliente presiona la médula espinal o los nervios espinales salen fuera de la columna, pueden producirse sensaciones como el entumecimiento y un dolor insoportable. ▲

Los discos y la estructura con forma de S de la columna vertebral funcionan juntos para evitar choques con la cabeza al caminar o correr. También hacen que el tronco corporal sea flexible. Las curvaturas espinales de las regiones sacra y torácica se denominan **curvaturas primarias** porque están presentes desde el nacimiento. Las dos curvaturas primarias juntas producen la columna vertebral con forma de C del bebé neonato (Figura 5.15). Las curvaturas de las regiones cervical y lumbar se denominan curvaturas secundarias porque se desarrollan

Continúa en la pág. 154

FIGURA 5.15 Típica espina dorsal con forma de C de un recién nacido.

MÁS DE CERCA

PROTEGE TU ESPALDA: ES LA ÚNICA QUE TIENES

El ejercicio regular es vital para mantener la espina dorsal fuerte y para proteger su estructura tan perfectamente proporcionada. Desafortunadamente, la mayoría de nosotros descuidamos la espalda hasta que los dolores y achaques requieren nuestra atención. Junto con los dolores de garganta y el resfriado común, millones de ciudadanos estadounidenses padecen dolores de espalda, y las lesiones de esta zona representan un cuarto de todas las pensiones por invalidez.

Aunque el dolor de espalda puede ser síntoma de muchas enfermedades, desde un tumor en la médula espinal hasta una frenopatía, más del 80% de los problemas de espalda son consecuencia de la debilidad muscular o están relacionados con la ansiedad. Esto no resulta sorprendente; unos abdominales fuertes y unos músculos flexibles en la espalda y la cadera desempeñan una función principal en el refuerzo de la delicada arquitectura de la columna vertebral, y el estrés hace que se formen "nudos" en los músculos. Unos músculos tensos pueden agravar los problemas de espalda incluso aunque no los provoquen. Los individuos obesos y los que rara vez practican ejercicio son los principales candidatos de padecer dolores lumbares. De hecho, algunos traumatólogos (especialistas en los huesos) se fijan en el dolor de espalda como índice de opulencia. Cuantos más chismes acumulamos para que trabajen por nosotros, más tiempo pasamos sentados o tumbados; y más se deterioran nuestros músculos. Por otro lado, las personas que deben levantar mucho peso en el trabajo también corren el riesgo de padecer dolores lumbares si no lo levantan adecuadamente.

Como dice el dicho: "Más vale prevenir que curar", y prevenir los problemas de espalda es mejor que intentar tratar el agonizante dolor que producen. Quizás entre el 70% y el 80% de todos los casos de dolores lumbares podrían prevenirse con tan sólo 10 minutos al día de ejercicios, si el cuerpo se alinea correctamente y se toman determinadas precauciones.

"Los dolores de espalda son uno de los motivos más comunes de las consultas médicas."

A continuación, se indican unas cuantas pistas fiables para proteger la espalda.

1. Mantén un peso bajo. Tan sólo unos kilos de más, especialmente el peso desequilibrado de una panza saliente, ejercen una tensión en la espina dorsal mucho mayor que la del propio peso. Un abdomen saliente empuja al cuerpo hacia adelante, de modo que obliga a que los músculos de la espalda se contraigan con más fuerza para compensar el peso. Por ejemplo, 4,5 kg de más ubicados 26 cm hacia el interior de la columna vertebral en la región abdominal obligan a que los músculos de la espalda ejerzan 23 kg extra de fuerza para contrarrestar la fuerza de empuje de los 4,5 kg.
2. Evita llevar con frecuencia tacones altos y zapatos o botas planos; si tienes problemas de espalda, erradica su uso. Ambos modifican la alineación de la espina dorsal. Los tacones altos inclinan la pelvis hacia adelante y aumentan la tensión en los músculos abdominales y de la espalda. Los zapa-

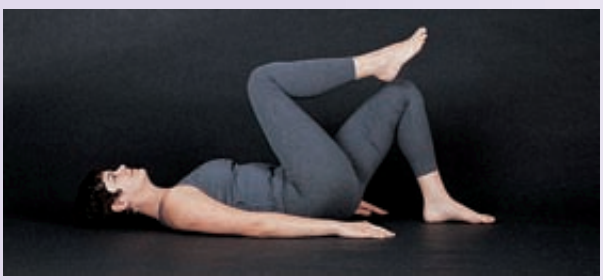
Agacharse baja el centro de gravedad.

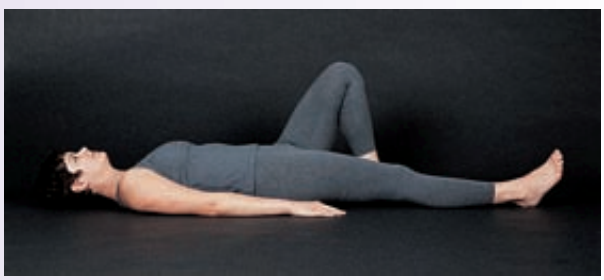
tos planos inclinan la pelvis hacia atrás, lo que dificulta la transferencia del peso al caminar.

3. Mantén una buena postura. Conserva la cabeza y la espalda alineadas, con el abdomen y las nalgas metidas hacia adentro.
4. Levanta objetos pesados utilizando mecanismo corporales adecuados. Cada objeto, incluido el cuerpo humano, posee un centro de gravedad alrededor del cual la masa corporal se distribuye equitativamente. En un adulto de pie, el centro de gravedad se encuentra dentro de la pelvis, ligeramente posterior al borde anterior de la articulación entre el sacro y la quinta vértebra lumbar. Un principio básico de los mecanismos corporales es que cuanto mayor sea la basa de soporte y más bajo esté el centro de gravedad, más estables somos. Aplicar este principio al levantamiento requiere una postura más amplia de la normal (separa los pies ligeramente) y, a continuación, dobla las rodillas (en vez de la espalda) para alcanzar y coger el objeto (véase la fotografía de la página anterior). Así, el peso se transmite a las piernas, más fuertes, aliviando la columna vertebral, que es más delicada. Si tienes que mover objetos grandes, empújalos en lugar de tirar de ellos.
5. Evita estar sentado durante mucho tiempo. Estar sentado aplica mucha más tensión en la espina dorsal que cuando se está de pie: los camioneros tienen cinco veces más probabilidades de padecer problemas lumbares y discos herniados. Si debes estar sentado durante mucho tiempo, descansa los pies en un pequeño taburete (o en el último cajón del escritorio) para reducir la tensión de la columna vertebral.
6. Tómate 10 minutos al día para estirar los músculos extensores lumbares y los músculos flexores de las caderas, así como para fortalecer los músculos abdominales. (Véanse las instrucciones y las fotos **a-c,** que figuran a continuación.) Si tienes antecedentes de problemas de espalda, evita cualquier ejercicio que fuerce los lumbares, incluidos (1) los abdominales con las piernas estiradas, (2) los levantamientos dobles de pierna y (3) tumbarte boca abajo y levantar la cabeza, los brazos y las piernas. ¡Atrévete a ser diferente! Sé bueno con tu columna vertebral y estarás a salvo de la queja casi universal: "¡Ay, qué dolor de espalda!".

(a) *Estiramiento de los músculos extensores de la zona lumbar.* Túmbate boca arriba con las rodillas dobladas y los pies en el suelo. Con los brazos a los lados, lleva una rodilla hasta el pecho. Baja el pie con la rodilla doblada y, a continuación, desliza el pie por el suelo hasta que la pierna quede totalmente estirada. Gira la pierna con cuidado de un lado a otro. Vuelve a la posición de inicio y repite el ejercicio con la otra pierna. Repite todo el ejercicio cinco o seis veces.

(b) *Estiramiento de los músculos flexores de la cadera.* Túmbate boca arriba. Expira a medida que llevas las rodillas al pecho. A continuación, mientras sujetas una rodilla en el pecho, desliza la pierna contraria por el suelo hasta que quede totalmente estirada. Intenta que la parte de detrás de la rodilla (región poplítea) de la pierna estirada toque el suelo. Mantente así mientras cuentas hasta 6.





(a)

MÁS DE CERCA Protege tu espalda *(continuación)*

Vuelve a la posición de inicio y repite el ejercicio con la otra pierna. Repite todo el ejercicio cinco o seis veces.

(c) *Estiramiento de los músculos abdominales.* Túmbate boca arriba con las rodillas dobladas y los pies en el suelo. Con los brazos a los lados, lleva una rodilla hasta el pecho. Expira a medida que levantas la cabeza, intentando tocar la rodilla levantada con la frente. Cuenta hasta 6. Vuelve a la posición de inicio, gira la cabeza con cuidado de un lado a otro. Inspira y repite el ejercicio con la otra pierna.

Repite todo el ejercicio 8 ó 10 veces al principio; realiza hasta 25 repeticiones al día.

(b)

(c)

algo después del nacimiento. En los adultos, las curvaturas secundarias permiten centrar el peso corporal en los miembros inferiores con el mínimo esfuerzo. La curvatura cervical aparece cuando un bebé empieza a levantar la cabeza, y la curvatura lumbar se desarrolla cuando empieza a caminar.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

¿Por qué se realizan "chequeos de espalda" en la escuela secundaria? La respuesta es que se buscan curvaturas anormales en la columna vertebral. Hay varios tipos de anomalías en las curvaturas de la espina dorsal. La Figura 5.16 muestra tres de ellas: **escoliosis, cifosis** y **lordosis.** Estas anomalías pueden ser congénitas (presentes en el nacimiento) o una consecuencia de alguna enfermedad, mala postura o empuje muscular desigual en la columna vertebral. A medida que observas estos diagramas, intenta determinar la diferencia entre estas enfermedades y una columna vertebral sana y normal. ▲

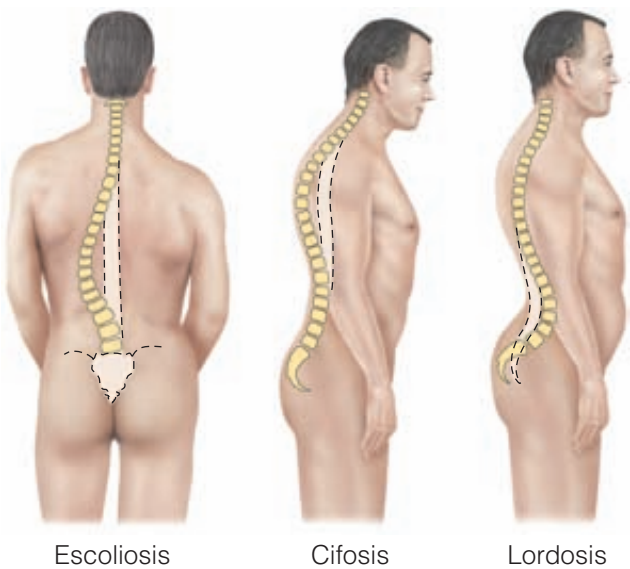


FIGURA 5.16 Curvaturas anormales de la columna vertebral.

Todas las vértebras poseen un modelo estructural parecido (Figura 5.17). Las características comunes de las vértebras incluyen las siguientes:

- **Cuerpo** o **centro:** parte de la vértebra con forma de disco que soporta el peso y se encuentra ubicada en la parte anterior de la columna vertebral.
- **Arco vertebral:** arco formado a partir de la unión de todas las extensiones posteriores, las **láminas** y los **pedículos** del cuerpo vertebral.
- **Agujero vertebral:** canal a través del cual pasa la médula espinal.
- **Apófisis transversa:** dos proyecciones laterales del arco vertebral.
- **Apófisis espinosa:** proyección que surge del punto posterior del arco vertebral (en realidad, láminas fusionadas).
- **Apófisis articulares superior e inferior:** par de proyecciones laterales al agujero vertebral, que permiten que una vértebra forme articulaciones con las vértebras adyacentes (véase también la Figura 5.18).

Además de las características comunes que acaban de describirse, las vértebras de distintas regiones de la columna vertebral poseen características estructurales muy específicas. Estas características regionales únicas de las vértebras se describen a continuación.

Vértebras cervicales

Las siete **vértebras cervicales** (identificadas como C_1-C_7) forman la región del cuello de la columna vertebral. Las dos primeras vértebras (*atlas* y *axis*) son distintas porque realizan funciones que no comparten otras vértebras cervicales. Como puedes ver en la Figura 5.18a, el **atlas** (C_1) carece de cuerpo. Las superficies superiores de su apófisis transversa contienen grandes depresiones que reciben a los cóndilos occipitales del cráneo. Esta articulación nos permite asentir con la cabeza. El **axis** (C_2) actúa como un pivote para la rotación del atlas (y la cabeza) ubicado encima. Cuenta con una gran apófisis vertical, el **odontoides,** que sirve de punto pivotante. La articulación entre la C_1 y la C_2 permite girar la cabeza de un lado a otro para negar.

Las "típicas" vértebras cervicales ($C_3 - C_7$) aparecen en la Figura 5.18b. Son las vértebras más pequeñas y más ligeras y, en la mayoría de los casos, sus apófisis espinosas son cortas y se dividen en dos ramas. Las apófisis transversas de las vértebras cervicales contienen agujeros (aberturas) por los que atraviesan las arterias vertebrales en su paso hacia el cerebro más arriba. Cada vez que veas estos agujeros en una vértebra, deberás detectar de inmediato que se trata de una vértebra cervical.

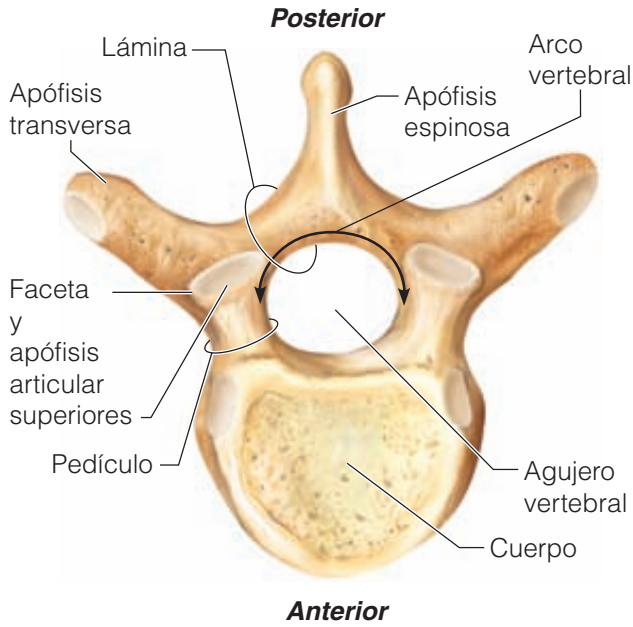


FIGURA 5.17 Vista superior de una vértebra típica. (No aparecen las superficies de la articulación inferior.)

Vértebras torácicas

Las 12 **vértebras torácicas** (T_1-T_{12}) son todas típicas. Son mayores que las vértebras cervicales y se distinguen por el hecho de ser las únicas vértebras que se articulan con las costillas. Como puede observarse en la Figura 5.18c, el cuerpo tiene una forma un tanto similar a la del corazón y posee dos facetas costales (superficies articuladoras) a cada lado, donde descansan las cabezas de las costillas. Las dos apófisis transversas de cada vértebra torácica se articulan con los tubérculos con forma de protuberancia ubicados cerca de las costillas. La apófisis espinosa es larga y se engancha con fuerza hacia abajo, lo que hace que la vértebra tenga el aspecto de una cabeza de jirafa vista de lado.

Vértebras lumbares

Las cinco **vértebras lumbares** ($L_1 - L_5$) poseen cuerpos enormes como bloques. Sus cortas apófisis espinosas con forma de hacha (Figura 5.18d) hacen que parezcan una cabeza de alce vista de lado. Puesto que la mayor parte de la tensión de la columna vertebral se produce en la región lumbar, éstas son las vértebras más fuertes.

Sacro

El **sacro** está formado por la fusión de cinco vértebras (Figura 5.19). En la parte superior, se articula con la L_5,

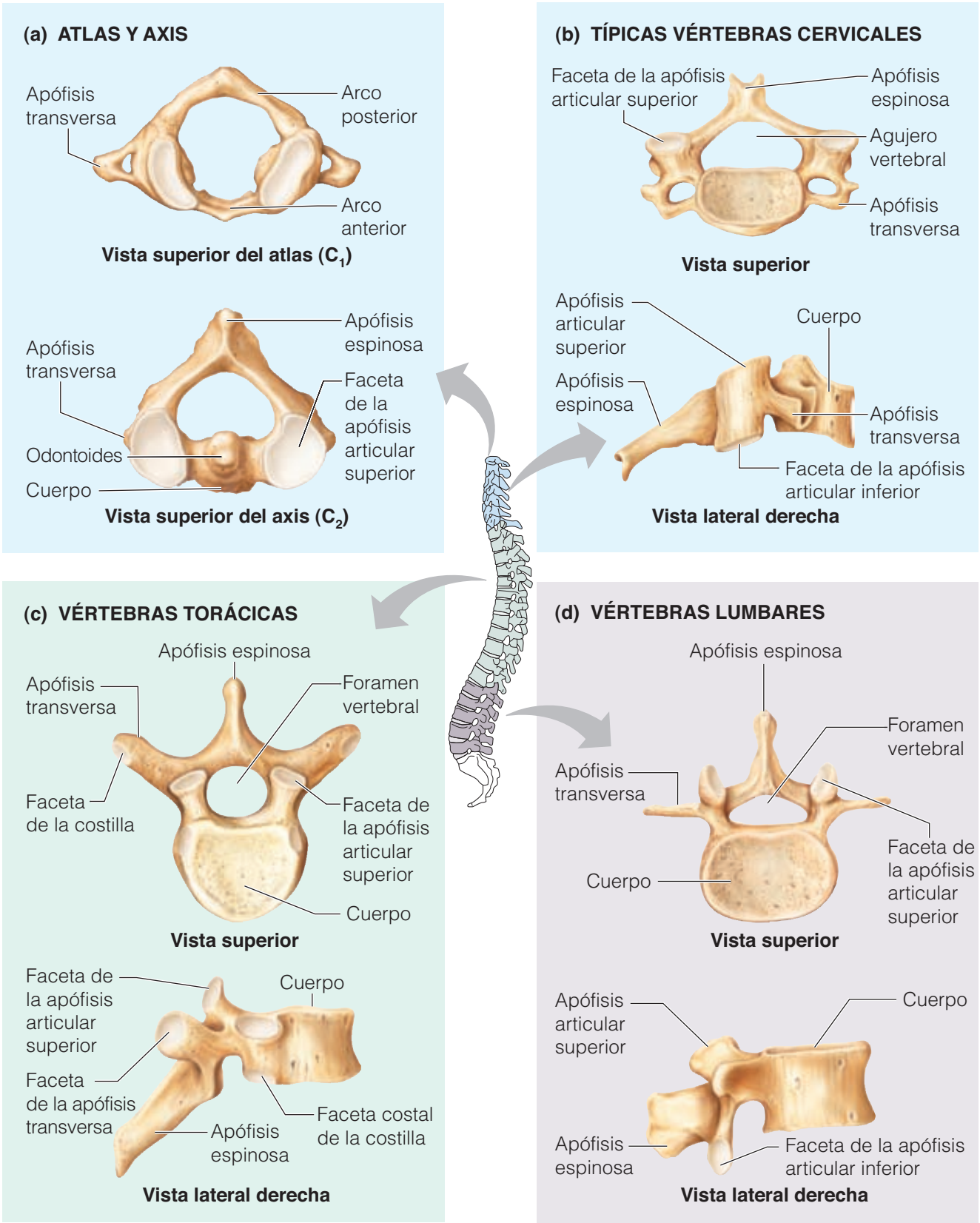


FIGURA 5.18 Características de las regiones vertebrales.
(a) Vistas superior del atlas y el axis. **(b)** Típicas vértebras cervicales. **(c)** Vértebras torácicas. **(d)** Vértebras lumbares.

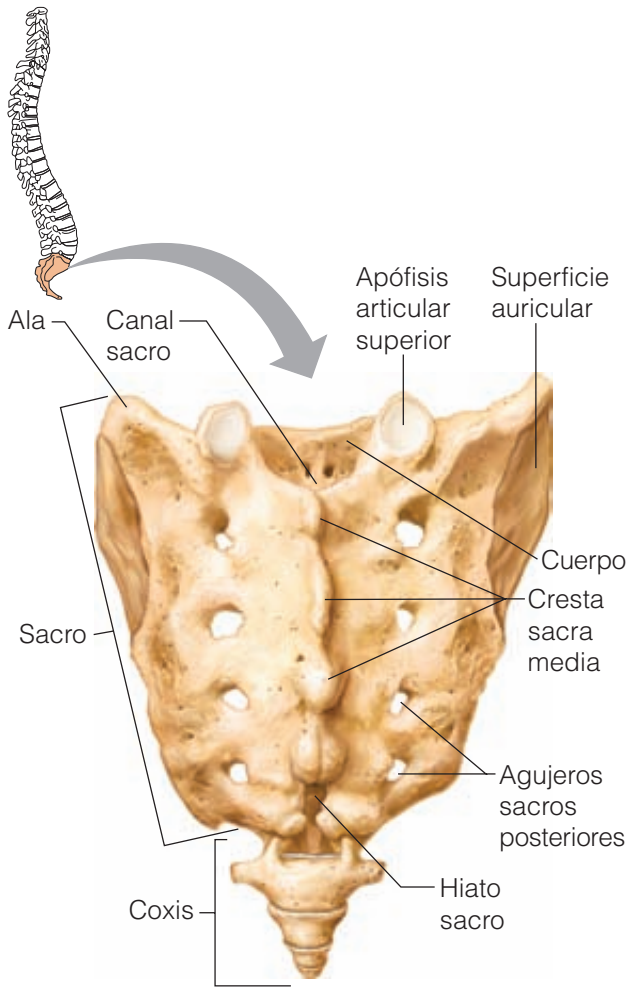


FIGURA 5.19 **Vista posterior del sacro y del coxis.**

y en su parte inferior se une al coxis. Las **alas** se articulan lateralmente con los huesos de la cadera, de modo que forman las articulaciones sacroilíacas. El sacro forma la pared posterior de la pelvis. Su superficie posterior de la línea media se hace rugosa por la **cresta sacra media**, la apófisis espinosa fusionada de las vértebras sacras. Se encuentra flanqueada a ambos lados por los *agujeros sacros posteriores*. El canal vertebral continúa por el interior del sacro al igual que el **canal sacro** y termina en una gran abertura inferior denominada **hiato sacro.**

Coxis

El **coxis** se forma a partir de la fusión de entre tres y cinco diminutas vértebras irregulares (véase la Figura 5.19). Se denomina el "hueso de la cola," un remanente de la cola que poseen otros animales vertebrados.

Caja torácica

El esternón, las costillas y las vértebras torácicas conforman el tórax óseo. El **tórax óseo** suele denominarse **caja torácica** porque forma una caja protectora cónica de los huesos finos que rodean a los órganos de la cavidad torácica (el corazón, los pulmones y los principales vasos sanguíneos). El tórax óseo aparece en la Figura 5.20.

Esternón

El **esternón** (hueso pectoral) es un típico hueso plano resultado de la fusión de tres huesos, el **manubrio,** el **cuerpo** y la **apófisis xifoide.** Está unido a los primeros siete pares de costillas.

El esternón cuenta con tres marcas óseas importantes, la escotadura yugular, el ángulo esternal y la articulación xifisternal.

- La **escotadura yugular** (borde cóncavo superior del manubrio) puede palparse fácilmente; generalmente, se encuentra a la altura de la tercera vértebra torácica.
- El **ángulo esternal** se origina en la unión del manubrio y el cuerpo en un ligero ángulo que forman entre sí, así que un puente transverso se forma a la altura de las segundas costillas. Ofrece un punto de referencia útil para contar las costillas de modo que se ubique el segundo espacio intercostal para detectar determinadas válvulas cardiacas.
- La **articulación xifisternal,** el punto en el que se fusionan el cuerpo esternal y la apófisis xifoide, se encuentra a la altura de la novena vértebra torácica.

Pálpate el ángulo esternal y la escotadura yugular.

Debido a la cercanía del esternón a la superficie corporal, resulta sencillo obtener muestras de su tejido de formación sanguínea (hematopoyético) para diagnosticar posibles enfermedades sanguíneas. Se introduce una aguja en el tuétano del esternón y se extrae una muestra; a este procedimiento se le denomina *perforación esternal*. Puesto que el corazón se encuentra en la parte inmediatamente posterior al esternón, el médico debe extremar las precauciones para no atravesar el esternón durante este procedimiento.

Costillas

Las paredes del tórax óseo están formadas por doce pares de **costillas.** (Al contrario de lo que se piensa, los hombres *no* tienen una costilla menos que las mujeres.) Todas las costillas se articulan con la columna vertebral en su parte posterior y, a continuación, se curvan hacia abajo y hacia la parte anterior de la superficie corporal. Las **costillas verdaderas,** los primeros siete pares, se unen directamente al esternón

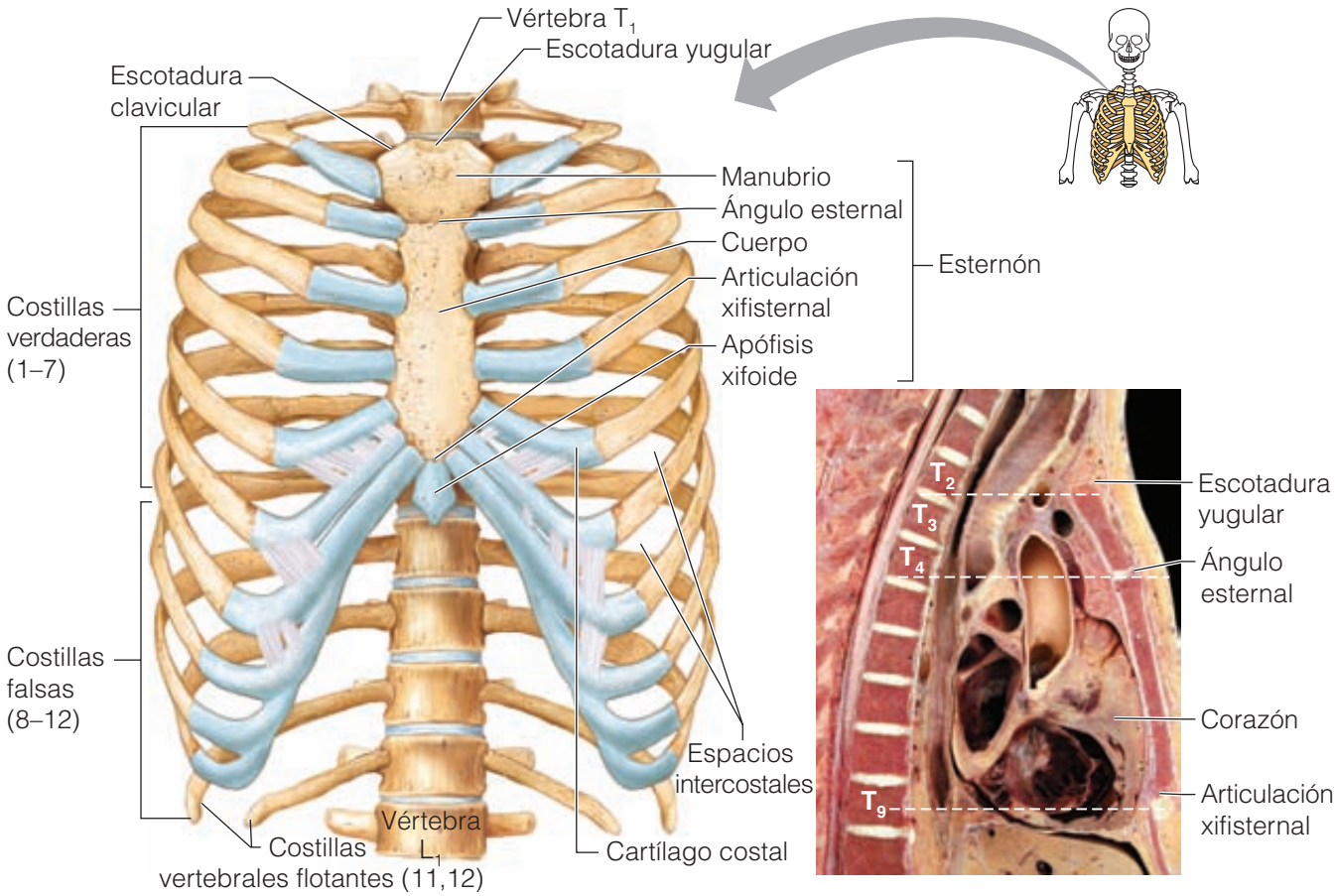


FIGURA 5.20 **El tórax óseo (caja torácica). (a)** Vista anterior. **(b)** Sección sagital media que atraviesa el tórax, de modo que muestra la relación entre las partes clave del esternón y la columna vertebral.

mediante los cartílagos costales. Las **costillas falsas,** los cinco pares siguientes, bien se unen de forma directa al esternón, bien no se unen a éste de ninguna forma. Los dos últimos pares de costillas falsas carecen de uniones esternales, de modo que éstos también se denominan **costillas flotantes.**

Los espacios intercostales (espacios entre las costillas) están rellenos de músculos intercostales que facilitan la respiración.

¿LO HAS ENTENDIDO?

14. ¿Cuáles son las cinco regiones principales de la columna vertebral?
15. ¿Cómo se distingue entre una vértebra lumbar y una vértebra cervical?
16. ¿Qué es una costilla verdadera? ¿Y una costilla falsa?
17. ¿Cómo afecta a la movilidad de la columna vertebral una fractura completa del odontoides?

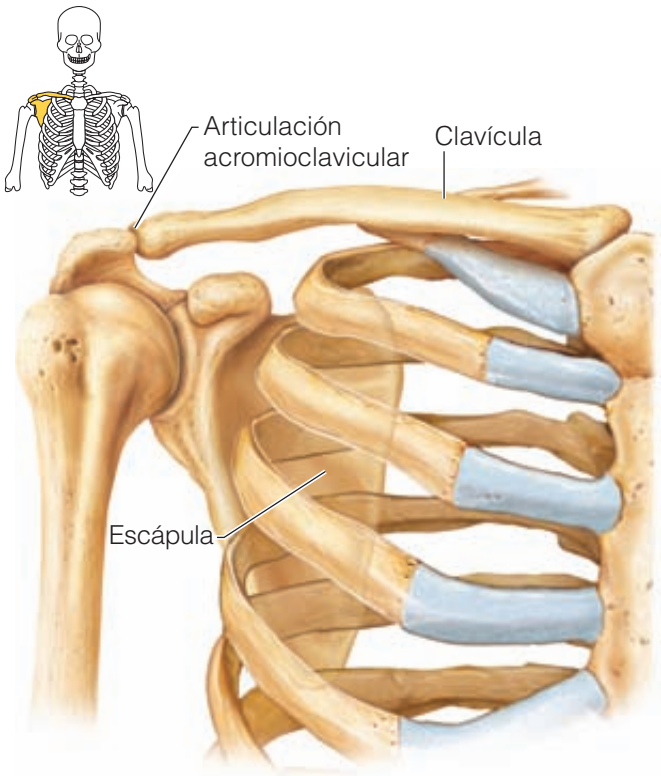
Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Esqueleto apendicular

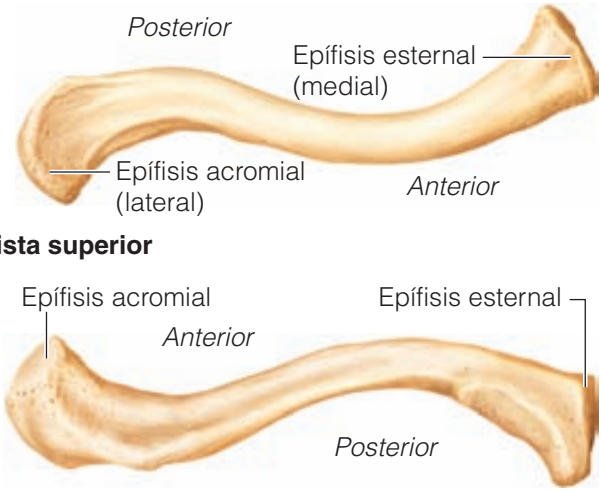
El *esqueleto apendicular* aparece sombreado en color dorado en la Figura 5.6. Consta de 126 huesos de las extremidades (apéndices) y de las cinturas pectorales y pélvicas, que unen las extremidades al esqueleto axial.

Huesos de la cintura escapular

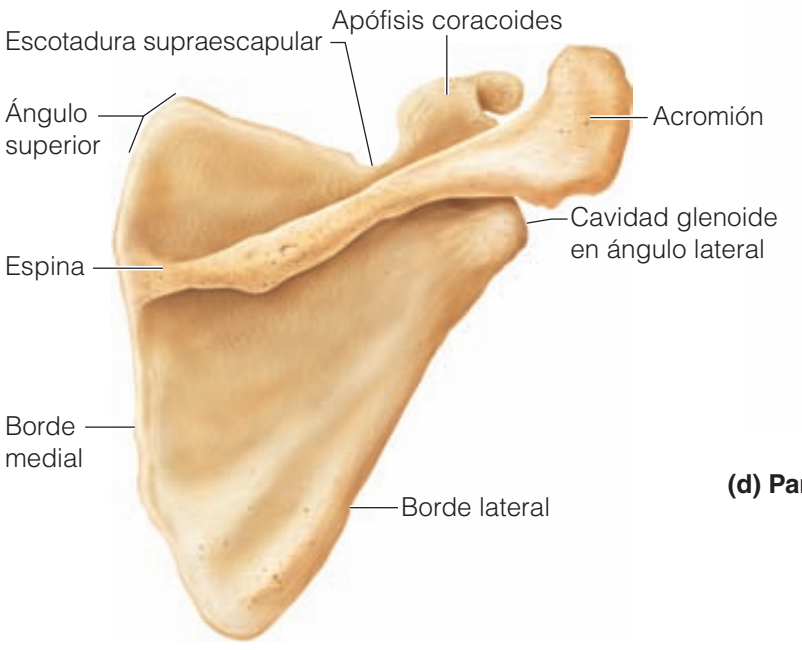
Cada **cintura escapular** (o **cintura pectoral**) consta de dos huesos, una clavícula y una escápula (Figura 5.21). La **clavícula** es un hueso fino doblemente curvado. Se une al manubrio del esternón por su parte



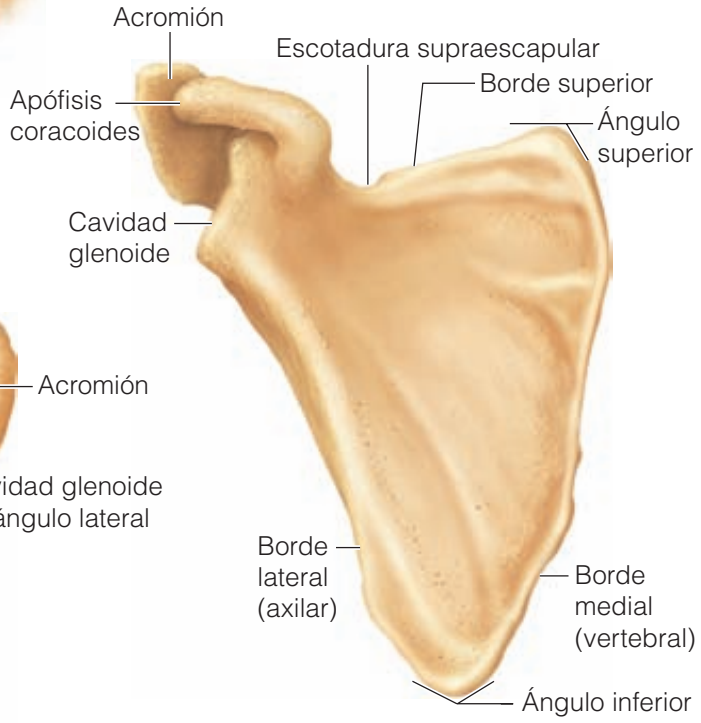
(a) Cintura escapular (pectoral) derecha articulada que muestra la relación entre los huesos del tórax y el esternón



(b) Vistas superior e inferior de la clavícula derecha



(c) Parte posterior de la escápula derecha



(d) Parte anterior de la escápula derecha

FIGURA 5.21 **Huesos de la cintura escapular.**

medial (en su epífisis esternal) y a la escápula por su parte lateral, donde facilita la formación de la articulación del hombro. La clavícula actúa como una abrazadera que sujeta el brazo alejado de la parte superior del tórax y ayuda a evitar la dislocación del hombro.

Cuando se rompe la clavícula, toda la región del hombro se hunde por su parte medial, lo cual demuestra la importancia que tiene su función de abrazadera.

Las **escápulas,** o *palas del hombro*, son triangulares y suelen denominarse "alas" porque se mueven como unas alas al mover los hombros por la parte posterior. Cada escápula dispone de un cuerpo alisado y de dos apófisis importantes, el **acromión,** que es el extremo extendido de la espina de la escápula, y la **apófisis coracoides** con forma de pico. El acromión se conecta a la clavícula por su parte lateral en la **articulación acromioclavicular.** La apófisis coracoides apunta por encima de la parte superior del hombro y se ancla en algunos de los músculos del brazo. Justo en la parte medial de la apófisis coracoides se encuentra la gran **escotadura supraescapular,** que actúa como una pasarela de nervios.

La escápula no se une directamente al esqueleto axial, sino que se sujeta ligeramente en su lugar mediante los músculos del tronco. La escápula posee tres bordes: el superior, el medial (vertebral) y el lateral (axilar). También tiene tres ángulos: superior, inferior y lateral. La **cavidad glenoide,** una cuenca poco profunda que aloja la cabeza del hueso del brazo, se encuentra en el ángulo lateral.

La cintura escapular es muy ligera y permite un increíble movimiento del miembro superior. Esto se debe a los siguientes factores:

1. Cada cintura escapular se une al esqueleto axial en un solo punto; la *articulación esternoclavicular*.
2. La ligera unión de la escápula permite que se deslice hacia adelante y hacia atrás frente al tórax a medida que actúan los músculos.
3. La cavidad glenoide es poco profunda y la articulación del hombro está escasamente reforzada por los ligamentos.

Sin embargo, esta excepcional flexibilidad también tiene un inconveniente: la cintura escapular se disloca con gran facilidad.

Huesos de los miembros superiores

La estructura esquelética de cada miembro superior está formada por 30 huesos separados (Figuras 5.22 y 5.23). Éstos forman los cimientos del brazo, del antebrazo y de la mano.

Brazo

El brazo está formado por un solo hueso, el **húmero,** que es un típico hueso largo (véanse las Figuras 5.22a y b). En su extremo proximal hay una cabeza redonda que encaja en la cabeza glenoide superficial de la escápula. En la parte inmediatamente inferior de la cabeza, hay un pequeño estrangulamiento denominado **cuello anatómico.**

En la parte anterolateral de la cabeza, hay dos proyecciones óseas separadas por el **surco intertubercular** (los **tubérculos mayor** y **menor,** que son puntos de unión de los músculos). Justo en la parte distal de los tubérculos se encuentra el **cuello quirúrgico,** denominado así porque es la parte del húmero que se fractura con mayor frecuencia. En el punto medio del eje, hay una zona rugosa denominada **tuberosidad deltoidea,** donde se une el músculo deltoides grande y carnoso del hombro.

Cerca de la tuberosidad deltoidea la **ranura radial** recorre hacia abajo de forma oblicua la parte posterior del eje. Esta ranura marca el curso del nervio radial, un importante nervio del miembro superior. En el extremo distal del húmero se encuentran la **tróclea** medial, que tiene un aspecto algo similar al de una bobina, y el **cóndilo** lateral con forma de pelota. Estas dos apófisis se articulan con los huesos del antebrazo. Encima de la parte anterior de la tróclea hay una depresión, la **fosa coronoidea;** en la superficie posterior se encuentra la **fosa del olécranon.** Estas dos depresiones, flanqueadas por los **epicóndilos medial** y **lateral,** permiten que las correspondientes apófisis del cúbito se muevan libremente cuando se dobla o extiende el codo.

Antebrazo

El esqueleto del antebrazo está formado por dos huesos: el radio y el cúbito (véase la Figura 5.22c). Cuando el cuerpo se encuentra en la posición anatómica, el **radio** es el hueso lateral; es decir, se encuentra en la cara del antebrazo en la que se encuentra el pulgar. Al girar la mano de modo que la palma apunte hacia atrás, el extremo distal del radio cruza hasta la parte medial del cúbito. En las partes proximal y distal, el radio y el cúbito se articulan en pequeñas **articulaciones radiocubitales,** y los dos huesos se conectan en toda su extensión mediante la flexible **membrana interósea.** Tanto el cúbito como el radio poseen una apófisis **estiloide** en su extremo distal.

La cabeza con forma de disco del radio también forma una articulación con el cóndilo del húmero. Justo debajo de la cabeza se encuentra la **tuberosidad radial,** donde se une el tendón del bíceps.

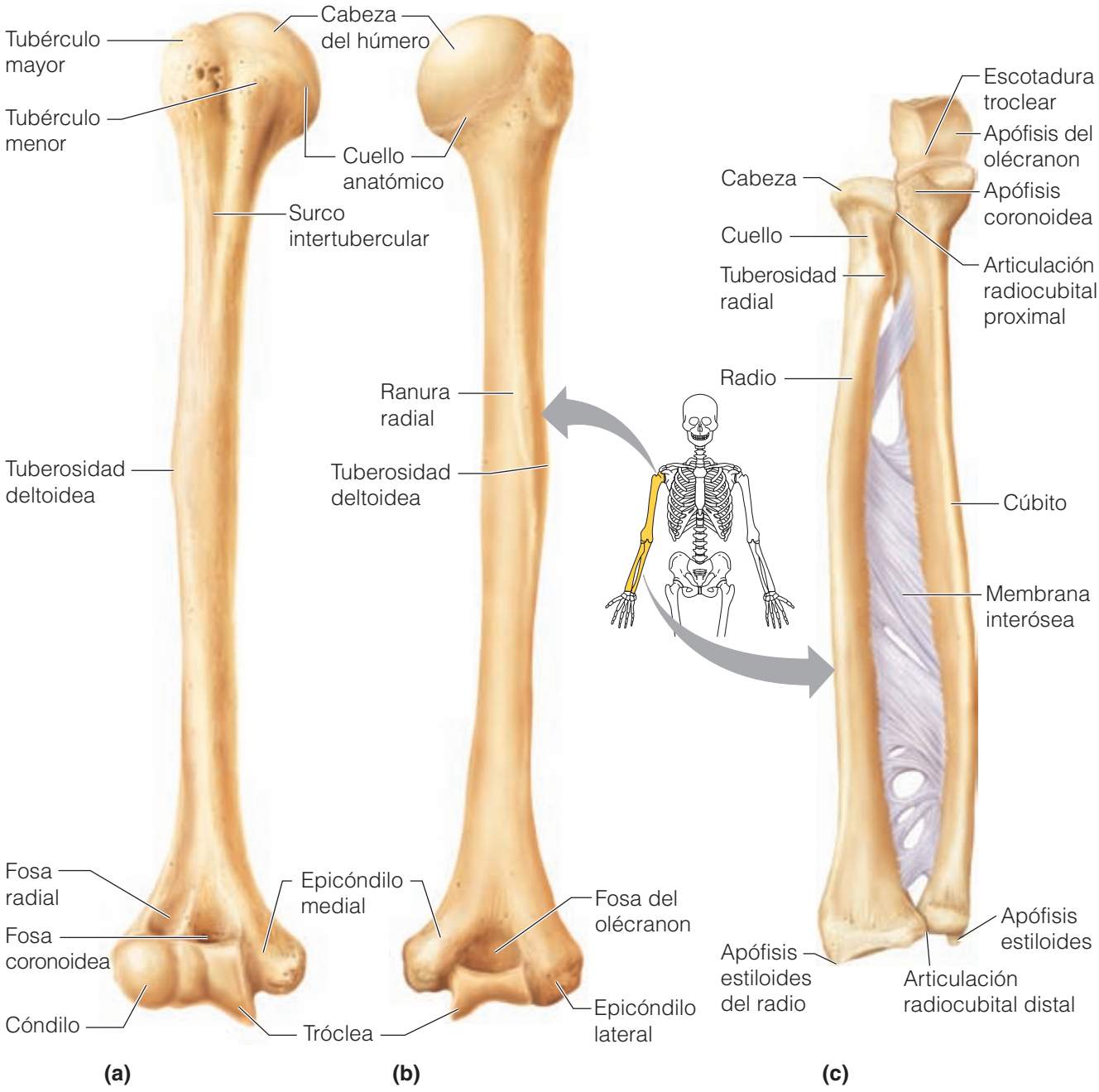


FIGURA 5.22 Huesos del brazo y antebrazo derechos.
(a) Vista anterior del húmero. **(b)** Vista posterior del húmero.
(c) Vista anterior de los huesos del antebrazo: el radio y el cúbito.

Cuando el miembro superior se encuentra en posición anatómica, el **cúbito** es el hueso medial (en la cara del dedo meñique) del antebrazo. En su extremo proximal se encuentran la **apófisis coronoidea** anterior y la **apófisis del olécranon** posterior, que están separadas por la **escotadura troclear.** Estas dos apófisis juntas sujetan la tróclea del húmero en una articulación como unos alicates.

Mano

El esqueleto de la mano consta de los carpianos, los metacarpianos y las falanges (Figura 5.23). Los ocho

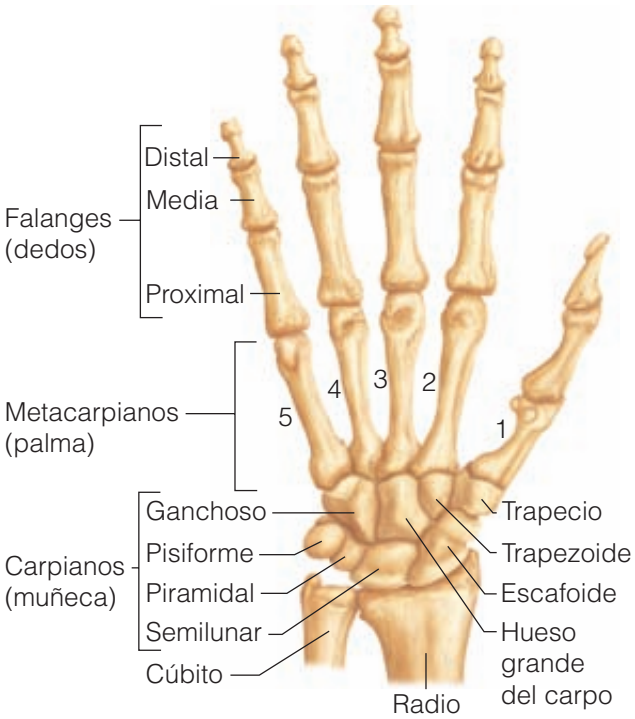


FIGURA 5.23 **Vista anterior de los huesos de la mano derecha.**

huesos carpianos, organizados en dos filas irregulares de cuatro huesos cada una, forman la parte de la mano denominada **carpo** o, más comúnmente, la muñeca. Los carpianos están unidos por ligamentos que limitan los movimientos entre sí. (En caso de que necesites aprender sus nombres, cada hueso carpiano aparece identificado en la Figura 5.23.)

La palma de la mano está formada por los **metacarpianos.** Las **falanges** son los huesos de los dedos. Los metacarpianos están numerados del 1 al 5 desde la cara del pulgar de la mano hacia el dedo meñique. Cuando se aprieta el puño, las cabezas de los metacarpianos se marcan como los "nudillos". Cada mano contiene 14 falanges. Hay tres en cada dedo (proximal, media y distal), excepto en el pulgar, donde sólo hay dos (proximal y distal).

¿LO HAS ENTENDIDO?

18. ¿Cuál es el único punto de unión de la cintura escapular al esqueleto axial?
19. ¿Qué hueso forma el esqueleto del brazo?
20. ¿Dónde se encuentran los carpianos y qué tipo de hueso son (largos, cortos, irregulares o planos)?
21. ¿Qué huesos de los miembros superiores poseen una apófisis estiloides?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Huesos de la cintura pélvica

La **cintura pélvica** está formada por dos **huesos coxales** (o **coxas óseas**) que suelen denominarse **huesos de la cadera**.

Junto con el sacro y el coxis, los huesos de la cadera forman la *pelvis ósea* (Figura 5.24). Ten en cuenta que los términos *cintura pélvica* y *pelvis ósea* tienen significados ligeramente distintos (cintura pélvica = dos huesos coxales; pelvis ósea = dos huesos coxales, el sacro y el coxis).

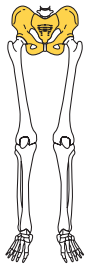
Los huesos de la cintura pélvica son grandes y pesados, y están firmemente unidos al esqueleto axial. Las cuencas, donde se apoyan los huesos del muslo, son profundos y están fuertemente reforzados por los ligamentos que unen firmemente los miembros a la cintura. Soportar el peso es la función más importante de esta cintura, porque el peso total del cuerpo superior descansa en la pelvis ósea. Los órganos reproductores, la vejiga de la orina y parte del intestino grueso se alojan en la pelvis ósea y están protegidos por ésta.

Cada hueso de la cadera está formado por la fusión de tres huesos: el *ilion*, el *isquion* y el *pubis*. El **ilion,** que se conecta en su parte posterior al sacro en la **articulación sacroilíaca,** es un hueso grande que realiza movimientos de alas y forma la mayor parte del hueso de la cadera.

Cuando ponemos las manos en las caderas, aquéllas descansan en las *alas* (o partes como alas) de la ília. El borde superior de un ala (**cresta ilíaca**) es una importante marca anatómica que siempre tienen en cuenta las personas que administran inyecciones intramusculares. La cresta ilíaca termina en su parte anterior en la **espina ilíaca superior anterior** y en su parte posterior en la **espina ilíaca superior posterior.** Las pequeñas espinas inferiores se encuentran por debajo de éstas.

El **isquion** es el "hueso de sentarse", denominado así porque forma la mayor parte inferior del hueso coxal. La **tuberosidad isquiática** es una zona rugosa donde descansa el peso corporal al sentarnos.

La **espina isquiátca,** superior a la tuberosidad, es otra marca anatómica importante, especialmente en las mujeres embarazadas, porque ensancha la salida de la pelvis que atraviesa el bebé durante el nacimiento. Otra característica estructural importante del isquion es la



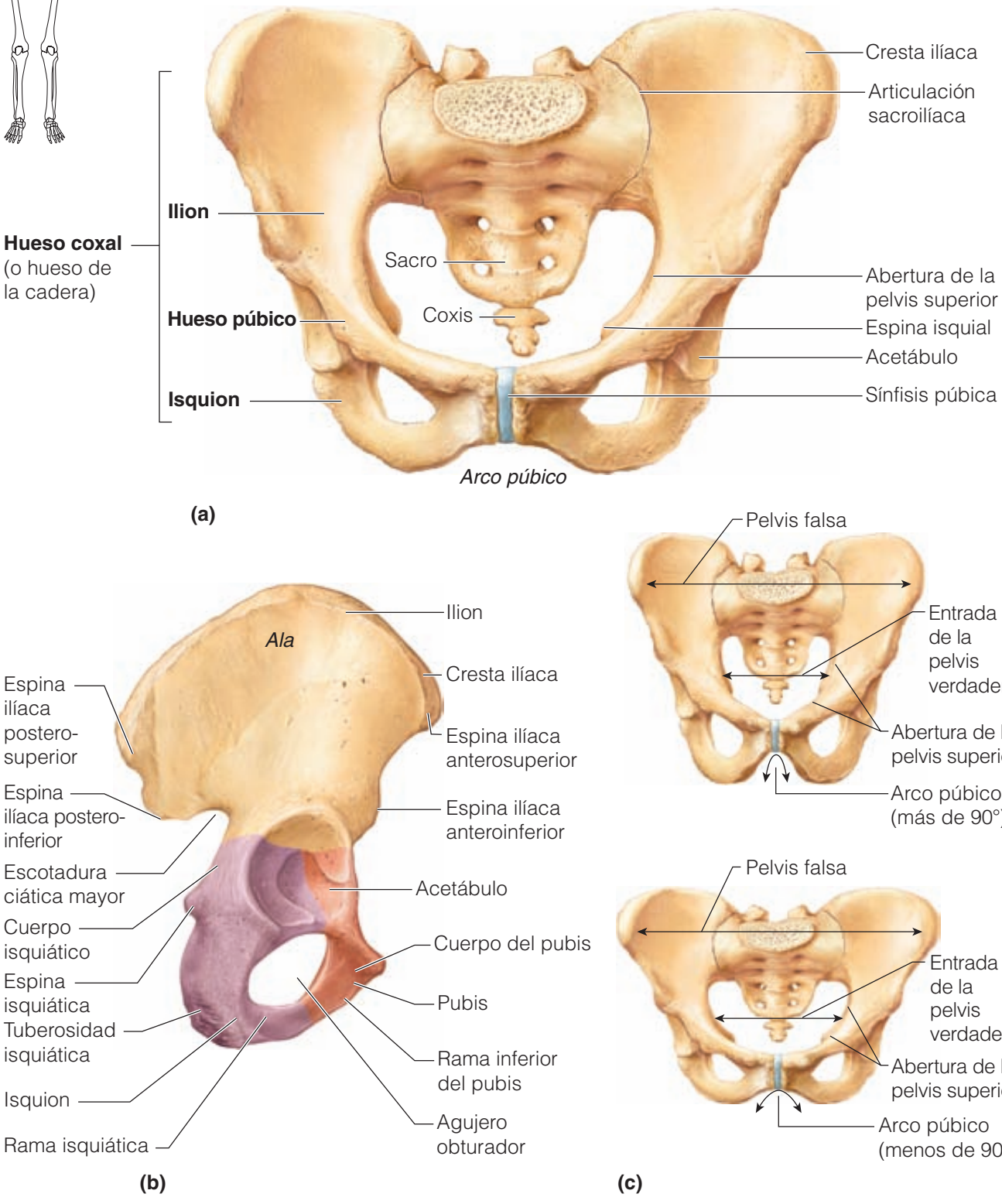


FIGURA 5.24 **Pelvis ósea. (a)** Pelvis de hombre articulada. **(b)** Hueso coxal derecho, que muestra el punto de fusión del ilion, el isquion y el hueso púbico. **(c)** Comparación de la pelvis del hombre (arriba) con la de la mujer (abajo).

escotadura ciática mayor, que permite el paso de los vasos sanguíneos y el nervio ciático desde la pelvis por su parte posterior en el muslo. Las inyecciones en las nalgas deben estar alejadas de esta zona.

El **pubis** (o **hueso púbico**) es la parte más anterior de un hueso coxal. La fusión de las ramas del pubis en su parte anterior y del isquion en su parte posterior forma una barra de hueso que encierra el **agujero obturador,** una abertura que permite el paso de los vasos sanguíneos y los nervios a la parte anterior del muslo. Los huesos púbicos de cada hueso de la cadera se funden en su parte anterior para formar una articulación cartilaginosa, la **sínfisis púbica.**

El ilion, el isquion y el pubis se fusionan en la profunda cuenca denominada **acetábulo,** que significa "vaso de vinagre". En el acetábulo se apoya la cabeza del hueso del muslo.

La pelvis ósea se divide en dos regiones. La **pelvis falsa** está en la parte superior de la **pelvis verdadera;** se trata de la zona medial de las partes de movimiento de ala de la ília. La pelvis verdadera está rodeada de hueso y se encuentra en la parte inferior de las partes de movimiento de ala de la ília y de la abertura de la pelvis superior. Las dimensiones de la pelvis verdadera de una mujer son muy importantes, porque aquélla debe ser lo suficientemente grande como para permitir el paso de la cabeza del bebé (la parte más grande del bebé) durante el parto. Las dimensiones de la cavidad, especialmente la **salida** (abertura inferior de la pelvis medida entre las espinas isquiáticas) y la **entrada** (abertura superior entre los lados derecho e izquierdo de la abertura de la pelvis superior) son fundamentales; por tanto, el ginecólogo las mide cuidadosamente.

Desde luego, las estructuras pélvicas individuales varían, pero hay diferencias bastante patentes entre la pelvis de un varón y la de una mujer. Observa la Figura 5.24c y fíjate en las siguientes características diferenciadoras entre la pelvis del hombre y de la mujer:

- La entrada de la mujer es mayor y más circular.
- La pelvis femenina en su totalidad es más superficial, y los huesos son más ligeros y más finos.
- La ília de la mujer aletea más lateralmente.
- El sacro femenino es más corto y está menos curvado.
- Las espinas isquiáticas de la mujer son más cortas y se encuentran más separadas; por tanto, la salida es mayor.
- El arco púbico femenino es más redondo porque el ángulo del arco púbico es mayor.

¿LO HAS ENTENDIDO?

22. ¿Qué tres huesos forman el hueso de la cadera? ¿Qué huesos forman la cintura pélvica?
23. ¿Qué tres diferencias hay entre la pelvis ósea de una mujer y la de un varón?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Huesos de los miembros inferiores

Los miembros inferiores soportan todo nuestro peso corporal cuando estamos de pie. De aquí que no resulte sorprendente que los huesos que forman los tres segmentos de los miembros inferiores (muslo, pierna y pie) sean más gruesos y fuertes que sus huesos homólogos de los miembros superiores.

Muslo

El **fémur** (o *hueso del muslo*) es el único hueso del muslo (Figuras 5.25a y b). Se trata del hueso más fuerte y pesado del cuerpo. Su extremo proximal tiene una cabeza con forma de pelota, un cuello y unos **trocánteres mayor** y **menor** (separados en su parte anterior por la **línea intertrocantérica** y en su parte posterior por la **cresta intertrocantérica**). Estas marcas y la **tuberosidad glútea,** ubicada en el eje, sirven de puntos de unión del músculo. La cabeza del fémur se articula con el acetábulo del hueso de la cadera en una cuenca profunda y firme. Sin embargo, el cuello del fémur es una parte común de fracturas, especialmente en la vejez.

El fémur se hace oblicuo en su parte medial hacia abajo para articularse con los huesos de la pierna; esto alinea las rodillas con el centro de gravedad del cuerpo. El recorrido medial del fémur es más notable en las mujeres, porque la pelvis femenina es más ancha que la del varón. En la parte distal del fémur se encuentran los **cóndilos lateral** y **medial,** que se articulan con la tibia por debajo. En su parte posterior, estos cóndilos están separados por la profunda **fosa intercondilar.** En la parte posterior del fémur distal se encuentra la suave **superficie rotuliana,** que forma una articulación con la rótula.

Pierna

Conectados en toda su longitud por la **membrana interósea,** los dos huesos, la tibia y el peroné, forman el esqueleto de la pierna (véase la Figura 5.25c). La **tibia** (o *hueso de la canilla*) es mayor y más medial. En el extremo proximal, los **cóndilos medial** y **lateral** (separados por la **eminencia intercondilar**) se articulan

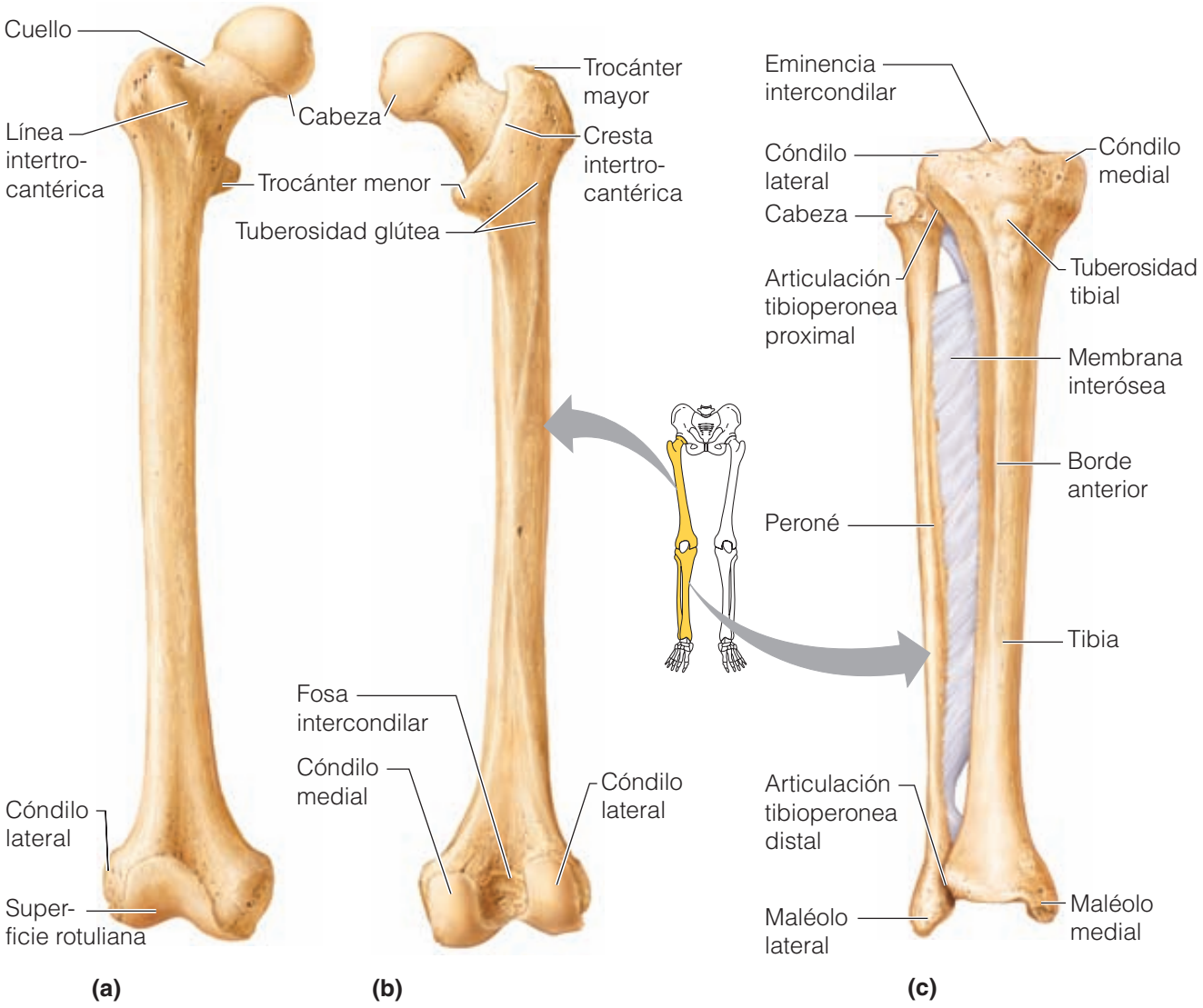


FIGURA 5.25 Huesos del muslo y de la pierna derechos.
(a) Vista anterior del fémur (hueso del muslo). **(b)** Vista posterior del fémur. **(c)** Vista anterior de la tibia y el peroné de la pierna.

con el extremo distal del fémur para formar la articulación de la rodilla. El ligamento rotuliano (rótula) se une a la **tuberosidad tibial,** una zona rugosa de la superficie tibial anterior. En su parte distal, una apófisis llamada **maléolo medial** forma la protuberancia interna del tobillo. La superficie anterior de la tibia es un puente afilado, el **borde anterior,** que está desprotegido de músculos y es fácil sentirlo por debajo de la piel.

El **peroné** recorre la tibia y forma articulaciones con ella en sus partes proximal y distal; es fina y con forma de palo. El peroné no participa en la formación de la articulación de la rodilla. Su extremo distal, el **maléolo lateral,** forma la parte externa del tobillo.

Pie

El pie, compuesto por los tarsianos, los metatarsianos y las falanges, tiene dos funciones importantes. Soporta el peso corporal y actúa como una palanca que permite impulsar el cuerpo hacia adelante al caminar o correr.

El **tarso,** que forma la mitad posterior del pie, está formado por siete **huesos tarsianos** (Figura 5.26). El peso corporal lo soportan en su mayor parte los dos

FIGURA 5.26 **Vista superior de los huesos del pie derecho.**

tarsianos mayores, el **calcáneo** y el **talo,** que se encuentran entre la tibia y el calcáneo. Cinco **metatarsianos** forman la planta del pie, y 14 **falanges** forman los dedos. Como los dedos de la mano, los del pie tienen tres falanges, excepto el gordo, que tiene dos.

Los huesos del pie forman tres fuertes arcos: dos longitudinales (medial y lateral) y uno transverso (Figura 5.27). Los *ligamentos,* que mantienen unidos los huesos del pie, y los tendones de los músculos del pie facilitan la firme sujeción de los huesos en posición arqueada, pero también aportan algo de elasticidad. Los arcos débiles se denominan "arcos caídos" o "pies planos".

¿LO HAS ENTENDIDO?

24. ¿Qué dos huesos forman el esqueleto de la pierna?
25. Los arcos longitudinal y medial de Luis han sufrido un colapso. ¿Cómo se llama la enfermedad de Luis?

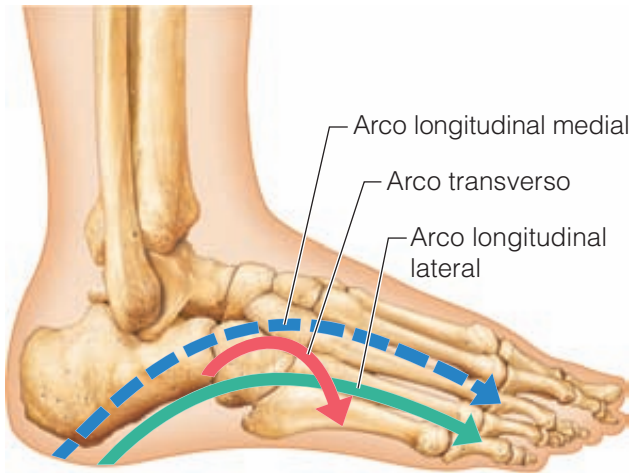


FIGURA 5.27 **Arcos del pie.**

26. ¿Qué hueso de los miembros inferiores posee una línea y una cresta intertrocantéricas y una fosa intercondilar?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Articulaciones

Con una excepción (el hueso hioides del cuello), todos los huesos del cuerpo forman una articulación al menos con otro hueso. Las **articulaciones** tienen dos funciones: mantienen los huesos juntos firmemente, pero también proporcionan movilidad al rígido esqueleto.

Los elegantes movimientos de una bailarina de *ballet* y los encontronazos de un jugador de fútbol demuestran la gran variedad de movimientos que permiten las articulaciones, los puntos en que se encuentran dos o más huesos. Con menos articulaciones, nos moveríamos como robots. Sin embargo, la función de unión ósea de las articulaciones es tan importante como su función de proporcionar movilidad. Las articulaciones inamovibles del cráneo, por ejemplo, forman un confortable alojamiento para nuestro cerebro vital.

Las articulaciones se clasifican de dos formas: funcionalmente y estructuralmente. La clasificación funcional se centra en la cantidad de movimiento que permiten las articulaciones. Según esto, hay **sinartrosis** (o articulaciones rígidas); **anfiartrosis** (o articulaciones ligeramente móviles) y **diartrosis** (o articulaciones totalmente móviles). Las articulaciones totalmente móviles predominan en los miembros, donde es importante la movilidad. Las articulaciones rígidas y las ligeramente

MÁS DE CERCA

HUESOS DE ACÁ PARA ALLÁ: AVANCES CLÍNICOS EN LA REPARACIÓN ÓSEA

Aunque los huesos poseen notables poderes autorregeneradores, algunas enfermedades son tan graves para los huesos que afectan a su reparación. Algunos ejemplos incluyen un gran aplastamiento (como en los accidentes de tráfico), una mala circulación en los huesos de las personas mayores y determinados defectos de nacimiento. Aquí se indican algunos problemas de curación que los huesos no pueden enfrentar por sí solos. Fijémonos en algunas técnicas que se utilizan en la actualidad para agilizar la reparación ósea.

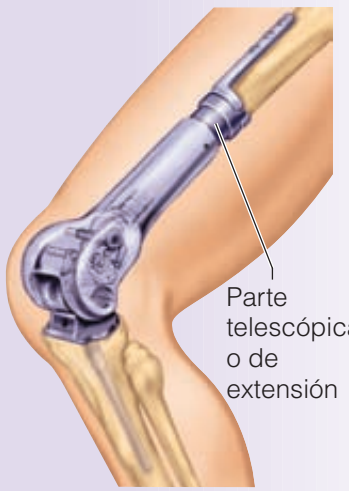
La **estimulación eléctrica de los puntos de fractura** aumenta drásticamente la velocidad y finalización del proceso de curación en las fracturas de curación larga o lenta. Durante años, se ha sabido que el tejido óseo se deposita en las zonas de carga eléctrica negativa (sus regiones tensas) y se absorbe en las zonas de carga positiva, pero los expertos aún no están seguros del modo en que la electricidad promueve la curación. Una teoría es que los campos negativos evitan que la hormona paratiroidea estimule los osteoclastos de absorción ósea en el punto de la fractura, de modo que permite la acumulación de tejido óseo. Otra teoría es que los campos inducen la producción de sustancias químicas de crecimiento que estimulan a los osteoblastos.

El **ultrasonido,** introducido como la base de una de las técnicas de imagen estudiadas en el Capítulo 1, puede acelerar la reparación de fracturas recientes. La exposición diaria a las ondas de ultrasonido pulsado de baja intensidad reduce el tiempo de curación de un brazo roto y de una fractura de los huesos de la espinilla entre un 35% y un 45%. Aparentemente, el ultrasonido estimula las células cartilaginosas para que formen callos.

Las lesiones óseas más molestas son las fracturas sin consolidar, en que las dos partes de un hueso roto no pueden unirse. Tales fracturas se han tratado tradicionalmente con injertos, donde las secciones de hueso se extraían de la cadera y se introducían en el hueco. No obstante, esto requiere varias sesiones dolorosas de injertos, y carecen de eficacia en un tercio de los injertos realizados. Una mejora potencial es la **técnica libre de injertos vascularizados de peroné,** que utiliza partes del peroné para sustituir al hueso que falta. Un motivo de que los injertos tradicionales fallen con frecuencia es que un suministro de sangre no puede alcanzar su parte interior. Esta nueva técnica injerta vasos sanguíneos normales junto con las secciones de hueso, y la posterior remodelación conduce a una buena réplica del hueso previamente dañado.

> *"Se ha investigado mucho en el desarrollo de sustitutos óseos."*

Aunque los implantes óseos han demostrado su eficacia en adultos, no han sido tan satisfactorios en los niños cuyos huesos están en crecimiento. Este problema se ha resuelto en parte, al menos para los candidatos de sustitución de rodilla, con **endoprótesis autoextensibles.**



Implante autoextensible de la pierna. La prolongación se produce en la parte telescópica o de extensión.

El manguito telescópico de estos dispositivos (véase la Figura) alarga automáticamente de forma continua el miembro que se fuerza al doblar la rodilla. La tensión del tejido circundante evita que la prótesis se alargue demasiado; la tensión aumenta tras cada prolongación y, a continuación, se reduce gradualmente a medida que crecen los tejidos blandos.

El **factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF)** es una proteína que estimula el crecimiento de los vasos sanguíneos. Los investigadores han explorado su potencial para crear nuevas arterias en individuos con cardiopatías, y últimamente han empezado a estudiar el VEGF como una forma de formar nuevo tejido óseo. Los experimentos realizados en ratones con fracturas óseas han demostrado que el VEGF estimula la formación

MÁS DE CERCA Huesos de acá para allá *(continuación)*

de osteoblastos y de las proteínas asociadas al crecimiento óseo.

La mayor parte de la investigación se ha centrado en el desarrollo de **sustitutos óseos** (hueso cadavérico aglomerado o material sintético) para rellenar los huecos en defectos por falta de unión. El hueso aglomerado de cadáveres de seres humanos se mezcla con agua para formar una pasta que puede moldearse para obtener la forma deseada o que puede compactarse en espacios pequeños a los que es difícil acceder. Sin embargo, el hueso cadavérico es un tejido extraño que puede rechazar el sistema inmunológico, y el cuerpo a veces no consigue reemplazarlo por el nuevo hueso, como debería para que se produzca la curación. Asimismo, hay un riesgo mínimo pero real de que el hueso cadavérico contenga organismos causantes de enfermedades.

El ProOsteon, hecho de coral, evita ambos problemas. El coral se trata con calor para matar sus células vivas y convertir su carbonato cálcico en hidroxiapatita, el mineral del hueso. A continuación, el injerto de coral se moldea con la forma deseada, se esteriliza mediante irradiación con rayos gamma, se cubre con una sustancia natural que induce a la formación ósea (proteína ósea morfogénica) y se implanta. Los osteoblastos y los vasos sanguíneos pasan del hueso adyacente natural al implante de coral, de modo que va sustituyéndose gradualmente por el hueso vivo.

La investigación también ha producido varios tipos de sustitutos óseos de cerámica. Uno es el TCP, una sustancia de cerámica biodegradable lo suficientemente blanda como para moldearse, pero no muy resistente. La mayor aplicación del TCP ha sido para reemplazar partes de hueso que no soportan peso corporal, como los huesos del cráneo.

Norian SRS, un cemento óseo hecho de fosfato cálcico, proporciona un soporte estructural inmediato para los puntos fracturados u osteoporóticos. Mezclado en el momento de la cirugía, la pasta de Norian SRS se inyecta en las zonas de hueso dañado para crear una "escayola" interna. La pasta se endurece en minutos y se seca, lo que acaba convirtiéndola en una sustancia con una fuerza de compresión mayor que el hueso esponjoso. Puesto que su estructura cristalina y su composición química son las mismas que las del hueso natural, va remodelándose y reemplazándose gradualmente por el hueso huésped. Sin embargo, el Norian SRS sólo puede utilizarse en las terminaciones de los huesos largos, porque no resiste las fuertes tensiones de compresión e inclinación del eje central.

móviles se limitan principalmente al esqueleto axial, donde la fijación firme y la protección de los órganos internos son las prioridades.

Estructuralmente, hay *articulaciones fibrosas*, *cartilaginosas* y *sinoviales*. Estas clasificaciones dependen de que las regiones óseas de la articulación estén separadas por tejido fibroso, por cartílago o por una cavidad articular. Por regla general, las articulaciones fibrosas son inmóviles, y las articulaciones sinoviales pueden moverse libremente. Aunque las articulaciones cartilaginosas poseen ejemplos inmóviles y ligeramente móviles, la mayoría son anfiartrosis. Puesto que la clasificación estructural es más clara, aquí nos centraremos en ese esquema de clasificación. Los tipos de articulación aparecen en la Figura 5.28, descrita a continuación y resumida en la Tabla 5.3.

Articulaciones fibrosas

En las **articulaciones fibrosas,** los huesos están unidos por tejido fibroso. Los mejores ejemplos de este tipo de articulación son las suturas del cráneo (Figura 5.28a). En las suturas, los bordes irregulares de los huesos se interbloquean y están firmemente unidos por fibras de tejido conectivo, lo que no permite prácticamente ningún movimiento. En la **sindesmosis,** las fibras conectoras son más largas que las de las suturas; así, la articulación posee más "elasticidad". La articulación que conecta las terminaciones distales de la tibia y el peroné es una sindesmosis (Figura 5.28b).

Articulaciones cartilaginosas

En las **articulaciones cartilaginosas,** las terminaciones óseas están unidas por cartílagos. Algunos ejemplos de este tipo de articulación que son ligeramente móviles (anfiartrosis) son la *sínfisis púbica* de la pelvis (Figura 5.28e) y las *articulaciones intervertebrales* de la columna vertebral (Figura 5.28d), donde las superficies óseas articulares están unidas mediante almohadillas (discos) de fibrocartílago. Las placas epifisarias de cartílago de hialina de los huesos largos en crecimiento y las articulaciones cartilaginosas entre las primeras costillas y el esternón son articulaciones cartilaginosas inmóviles (sinartrosis) (Figura 5.28c).

Articulaciones sinoviales

Las **articulaciones sinoviales** son articulaciones en que las terminaciones óseas articulares están separadas por

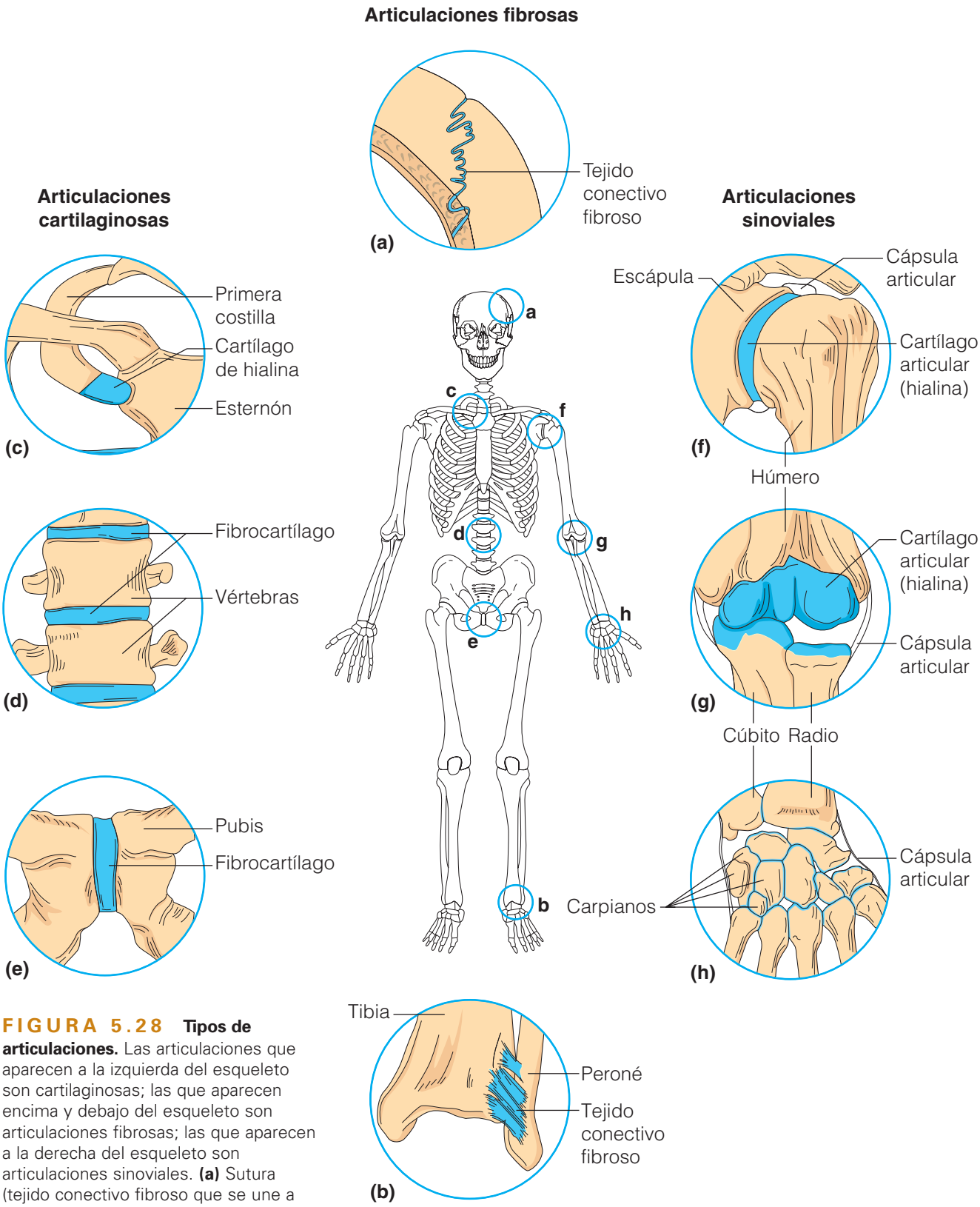


FIGURA 5.28 Tipos de articulaciones. Las articulaciones que aparecen a la izquierda del esqueleto son cartilaginosas; las que aparecen encima y debajo del esqueleto son articulaciones fibrosas; las que aparecen a la derecha del esqueleto son articulaciones sinoviales. **(a)** Sutura (tejido conectivo fibroso que se une a los huesos de interbloqueo del cráneo). **(b)** Sindesmosis (tejido conectivo fibroso que conecta las terminaciones distales de la tibia y el peroné). **(c)** Sincondrosis (articulación entre el cartílago costal de la primera costilla y el esternón). **(d)** Sínfisis (discos intervertebrales de fibrocartílago que conectan las vértebras adyacentes). **(e)** Sínfisis (sínfisis púbica fibrocartilaginosa que conecta los huesos púbicos por su parte anterior). **(f)** Articulación sinovial (articulación multiaxial del hombro). **(g)** Articulación sinovial (articulación uniaxial del codo). **(h)** Articulaciones sinoviales (articulaciones biaxiales intercarpianas de la mano).

TABLA 5.3 Resumen de las clases de articulaciones

Clase estructural	Características estructurales	Tipos	Movilidad
Fibrosa	Terminaciones / partes óseas unidas por fibras de colágeno	Sutura (fibras cortas)	Inmóvil (sinartrosis)
		Sindesmosis (fibras más largas)	Ligeramente móvil (anfiartrosis) e inmóvil
		Gonfosis (ligamento periodontal)	Inmóvil
Cartilaginosa	Terminaciones / partes óseas unidas por cartílago	Sincondrosis (cartílago de hialina)	Inmóvil
		Sínfisis (fibrocartílago)	Ligeramente móvil
Sinovial	Terminaciones / partes óseas cubiertas por cartílago articular y alojadas en una cápsula articular rodeada de membrana sinovial	Plana, Bisagra, Pivote, Condiloidea, Silla de montar, Enartrósica	Totalmente móvil (diartrosis; los movimientos dependen del diseño de la articulación)

una cavidad articular que contiene líquido sinovial (véase la Figura 5.28f–h). Representan todas las articulaciones de los miembros.

Todas las articulaciones sinoviales tienen dos características diferenciadoras (Figura 5.29):

1. **Cartílago articular.** El cartílago articular (hialina) cubre las terminaciones de los huesos que forman la articulación.
2. **Cápsula articular fibrosa.** Las superficies articulares están rodeadas de una capa o cápsula de tejido conectivo fibroso, y la cápsula está rodeada a su vez de una suave *membrana sinovial* (motivo por el cual estas articulaciones se denominan articulaciones sinoviales).
3. **Cavidad articular.** La cápsula articular rodea una cavidad, denominada cavidad articular, que contiene líquido sinovial lubricante.
4. **Ligamentos de refuerzo.** La cápsula fibrosa suele estar reforzada por ligamentos.

Las bolsas sinoviales y las vainas de los tendones no forman parte de las articulaciones sinoviales, pero a menudo se encuentran asociadas con ellas en gran medida (véase la Figura 5.29). Las bolsas esencialmente de lubricante actúan como cojinetes de bolas para reducir la fricción entre las estructuras adyacentes durante la actividad articular. Las **bolsas sinoviales** ("bolsas") son sacos fibrosos planos rodeados de membrana sinovial y que contienen una película fina de líquido sinovial. Son comunes en los puntos donde los ligamentos, los músculos, la piel, los tendones o los huesos se frotan entre sí. Una **vaina de tendón,** que también aparece en la Figura 5.29, es esencialmente una bolsa alargada que envuelve por completo a un tendón que puede sufrir fricción, al igual que el pan que rodea la salchicha en un perrito caliente.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Una **dislocación** se produce cuando se fuerza un hueso fuera de su posición normal en la cavidad articular. El proceso de devolver el hueso a su posición adecuada, denominado **reducción,** sólo debe realizarlo un médico. Los intentos de "colocar el hueso de nuevo en su cuenca" por parte de una persona no cualificada suelen ser más perjudiciales que útiles. ▲

Tipos de articulaciones sinoviales según la forma

Las formas de las superficies óseas articulares determinan los movimientos de una articulación. Según ellas, nuestras articulaciones sinoviales pueden clasificarse en *articulaciones planas, en bisagra, en pivote, condiloideas, en silla de montar* y *enartrósicas* (Figura 5.30).

- En una **articulación plana** (Figura 5.30a), las superficies articulares son esencialmente planas y sólo

P *¿En qué se diferencia estructuralmente este tipo de articulación de las articulaciones cartilaginosas y fibrosas?*

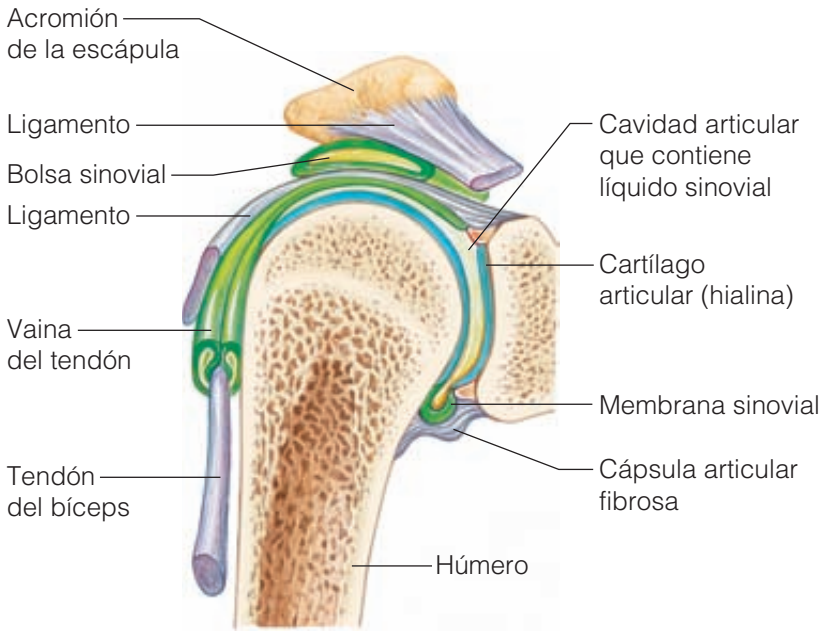


FIGURA 5.29 **Estructura general de una articulación sinovial.**

permiten movimientos de corrimiento o deslizamiento. Los movimientos de las articulaciones planas no son axiales; es decir, que el deslizamiento no implica rotación en torno a ningún eje. Las articulaciones intercarpianas de la muñeca son los mejores ejemplos de articulaciones planas.

- En una **articulación en bisagra** (Figura 5.30b), la terminación cilíndrica de un hueso se ajusta a una superficie con forma de depresión de otro hueso. Los movimientos angulares sólo se permiten en un plano, como una bisagra mecánica. Algunos ejemplos son la articulación del codo, la del tobillo y las que hay entre las falanges de los dedos. Las articulaciones en bisagra se clasifican como *uniaxiales* ("un eje"); sólo permiten movimientos en torno a un eje, como indica la flecha magenta de la Figura 5.30b.
- En una **articulación en pivote** (Figura 5.30c), la terminación redondeada de un hueso se ajusta a un manguito o anillo óseo (y posiblemente a los ligamentos). Puesto que el hueso sólo puede girar en torno a su eje largo, las articulaciones en pivote también son uniaxiales (véase la flecha de la Figura 5.30c). La articulación radiocubital proximal y la articulación entre el atlas y el odontoides del axis son algunos ejemplos.
- En una **articulación condiloidea** ("como los nudillos"), la superficie articular con forma de huevo de un hueso se ajusta a una concavidad ovalada de otro (Figura 5.30d). Estas dos superficies articulares son ovaladas. Las articulaciones condiloideas permiten que el hueso de desplace (1) de lado a lado y (2) de delante hacia atrás, pero el hueso no puede girar en torno a su eje largo. El movimiento se produce en torno a dos ejes, de ahí que estas articulaciones sean *biaxiales* (*bi* = dos), como en las articulaciones de los nudillos (metacarpofalángicas).
- En las **articulaciones en silla de montar,** cada superficie articular tiene un área cóncava y otra convexa, como una silla de montar (Figura 5.30e). Estas articulaciones biaxiales permiten prácticamente los mismos movimientos que las articulaciones condiloideas. Los mejores ejemplos de las articulaciones en silla de montar son las articulaciones carpometacarpianas del pulgar, y los movimientos de estas articulaciones quedan claramente demostrados al cruzar los pulgares.
- En una **articulación enartrósica** (Figura 5.30f), la cabeza esférica de un hueso se ajusta a una cuenca redonda de otro. Estas articulaciones *multiaxiales* permiten el movimiento en todos los ejes, incluido la ro-

R *En que posee una cavidad articular en lugar de cartílago o tejido fibroso para separar los huesos de la articulación.*

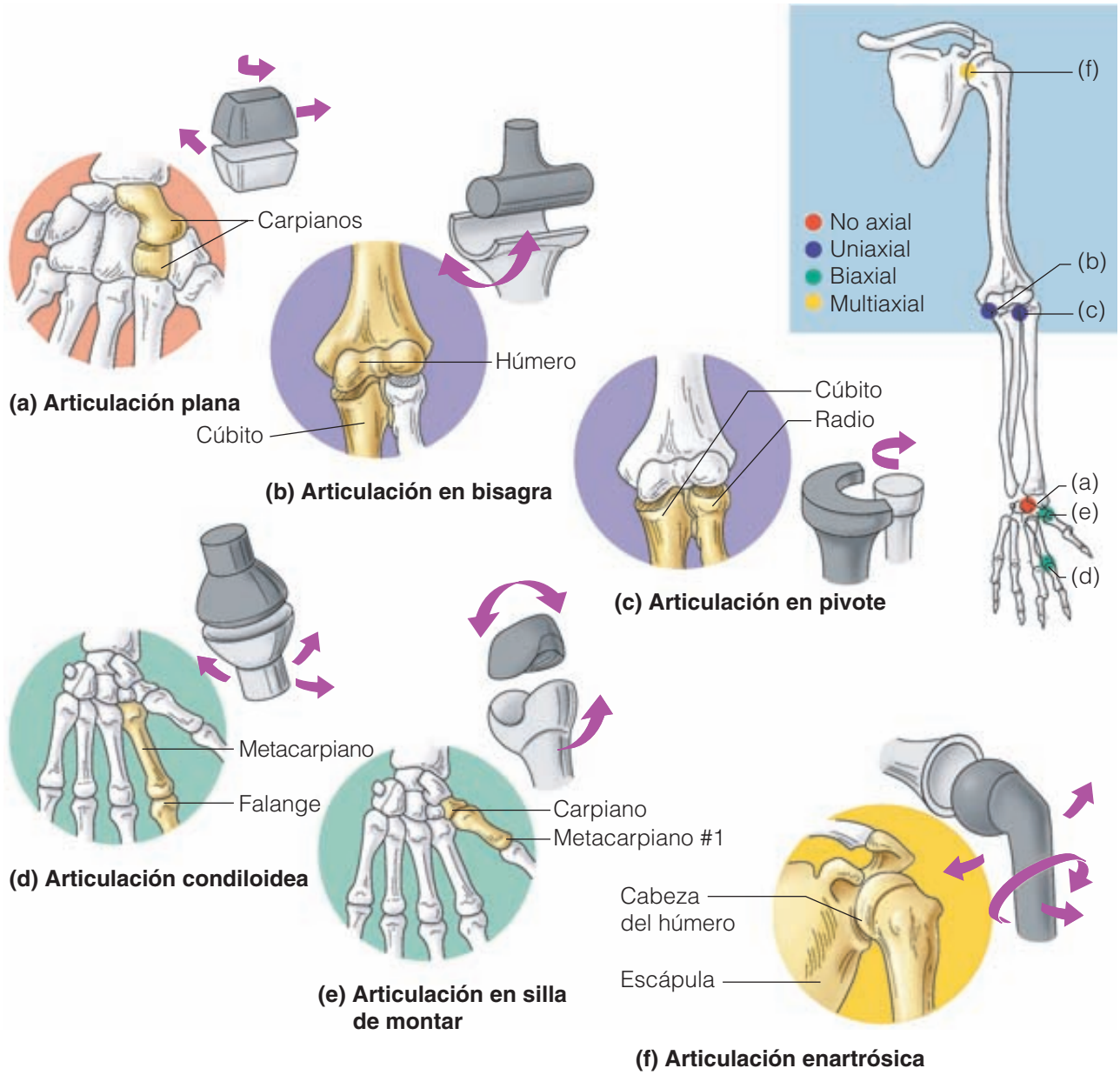


FIGURA 5.30 **Tipos de articulaciones sinoviales. (a)** Articulación plana (articulaciones intercarpianas e intertarsianas). **(b)** Articulación en bisagra (articulaciones del codo e interfalángicas). **(c)** Articulación en pivote (articulación proximal entre el radio y el cúbito). **(d)** Articulación condiloidea (nudillos). **(e)** Articulación en silla de montar (articulación carpometacarpiana del pulgar). **(f)** Articulación enartrósica (articulaciones del hombro y la cadera).

tación (véanse las tres flechas de la Figura 5.30f) y son las articulaciones sinoviales que permiten más movimiento. El hombro y la cadera son algunos ejemplos.

Puesto que se relacionan con la actividad muscular, los variados tipos de movimientos que se producen en las articulaciones sinoviales se explican detalladamente en el siguiente capítulo.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Pocas personas prestan atención a sus articulaciones a menos que se produzca algún problema. El dolor y la inflamación articulares pueden tener muchas causas. Así, caerse sobre una rodilla puede provocar una **bursitis** dolorosa, denominada "agua en la rodilla," debido a la inflamación de las bolsas sinoviales o la membrana sinovial. Las tor-

ceduras y dislocaciones son otros tipos de problemas articulares que producen hinchazones y dolor. En una **torcedura,** los ligamentos o tendones que refuerzan una articulación se dañan por un estiramiento excesivo, o se separan del hueso. Tanto los tendones como los ligamentos son cordones de denso tejido conectivo fibroso con un escaso suministro sanguíneo; así, las torceduras se curan lentamente y son extremadamente dolorosas.

Pocos trastornos articulares inflamatorios causan más dolor y sufrimiento que la artritis. El término **artritis** (*art* = articulación; *itis* = inflamación) describe más de 100 enfermedades inflamatorias o degenerativas diferentes que dañan las articulaciones. En todas sus formas, la artritis es la enfermedad más grave y extendida de Estados Unidos. Todas las formas de artritis presentan los mismos síntomas iniciales: dolor, entumecimiento e hinchazón de la articulación. A continuación, según la forma específica, se producen determinados cambios en la estructura articular.

Las formas agudas de artritis suelen ser consecuencia de una invasión bacteriana y se tratan con antibióticos. La membrana sinovial se espesa y se reduce la producción de líquido, lo que produce más fricción y más dolor. Las formas crónicas de artritis incluyen la osteoartritis, la artritis reumatoide y la artritis gotosa, que difiere sustancialmente en sus últimos síntomas y en sus consecuencias. Aquí nos centraremos en estas formas.

Osteoartritis (OA), la forma más común de artritis, es una enfermedad crónica degenerativa que afecta habitualmente a las personas mayores. El 85% de los estadounidenses desarrollan esta enfermedad. La OA, también denominada "osteoartritis hipertrófica", afecta a los cartílagos articulares. A lo largo de los años, el cartílago se ablanda, se desgasta y acaba rompiéndose. A medida que evoluciona la enfermedad, el hueso expuesto se engrosa y crece tejido óseo adicional, denominado **espolón,** alrededor de los bordes del cartílago mermado y limita el movimiento articular. Los pacientes refieren entumecimiento que se alivia con actividad, y puede que las articulaciones afectadas crujan **(crepitación)** al moverse. Las articulaciones que suelen verse afectadas con mayor frecuencia son las de los dedos, las articulaciones cervicales y lumbares de la espina dorsal y las grandes articulaciones que soportan peso de los miembros inferiores (rodillas y caderas).

La evolución de la osteoartritis suele ser lenta e irreversible, pero en raras ocasiones resulta grave. En la mayoría de los casos, sus síntomas son controlables con un analgésico medio como el ácido acetilsalicílico, una actividad moderada para mantener la movilidad articular y reposo cuando los dolores articulares sean muy intensos. Algunas personas con OA afirman que frotar la piel con capsaícina (un extracto de pimiento picante) en la zona de dolor articular proporciona alivio. Otros utilizan la capacidad reductora del dolor del sulfato de glucosamina, un complemento nutricional.

La **artritis reumatoide (RA)** es un trastorno inflamatorio crónico. Su brote es insidioso y suele producirse en individuos de entre 40 y 50 años, pero puede aparecer a cualquier edad. Afecta al triple de mujeres que de varones. Muchas articulaciones, especialmente las de los dedos, las muñecas, los tobillos y los pies, se ven afectadas al mismo tiempo y normalmente de forma asimétrica. Por ejemplo, si se ve afectado el codo derecho, lo más probable es que también se vea afectado el codo izquierdo. La evolución de la RA varía y está marcada por remisiones y nuevos brotes (*reumat* = susceptible de cambiar o desestabilizarse).

FIGURA 5.31 Radiografía de una mano deformada por la artritis reumatoide.

La RA es una enfermedad autoinmune, un trastorno en que el sistema inmunológico del cuerpo intenta destruir sus propios tejidos. Se desconoce el desencadenante inicial de esta reacción, pero algunos expertos sospechan que es consecuencia de determinadas infecciones bacterianas o víricas.

La RA comienza con la inflamación de las membranas sinoviales. Las membranas se espesan y las articulaciones se hinchan a medida que se acumula el líquido sinovial. Las células inflamatorias (glóbulos blancos y otras) acceden a la cavidad articular desde la sangre y liberan un cargamento de sustancias químicas inflamatorias que destruyen los tejidos corporales cuando se liberan de forma inadecuada como en la RA. En poco tiempo, la membrana sinovial inflamada se engrosa hasta convertirse en un **pannus** ("paño"), un tejido anormal que se aferra a los cartílagos articulares y los corroe. Puesto que se destruye el cartílago, se forma tejido cicatrizante que conecta las terminaciones óseas. El tejido cicatrizante acaba osificándose, y las terminaciones óseas se quedan más fuertemente fusionadas **(anquilosis)** y a menudo se deforman (véase la Figura 5.31). No todos los casos de la RA progresan hasta la grave fase de la anquilosis, pero en todos los pacientes implica la restricción del movimiento articular y un dolor extremo.

Para el tratamiento actual de la RA hay muchos tipos distintos de medicamentos. Algunos, como el metotrexato, son inmunosupresores. Otros, como el etanercept (Enbrel®), neutralizan las sustancias químicas inflamatorias en el espacio articular y (con suerte) evitan que se deforme la articulación. Sin embargo, el tratamiento con medicamentos empieza a menudo con el ácico acetilsalicílico, que en grandes dosis resulta un eficaz agente antiinflamatorio. Se recomienda la práctica de ejercicio para mantener la mayor movilidad articular posible. Las bolsas de frío se utilizan para aliviar el dolor y la hinchazón, y el calor ayuda a aliviar el entumecimiento matinal. Las articulaciones de sustitución o la extracción ósea son el último recurso para los pacientes con RA grave.

La **artritis gotosa,** o **gota,** es una enfermedad en la que se acumula ácido úrico (desecho normal producto del metabolismo del ácido nucleico) en la sangre que puede depositarse como cristales con forma de aguja en los tejidos blandos de las articulaciones. Esto provoca un ataque doloroso y agonizante que suele afectar a una sola articulación, a menudo el dedo gordo del pie. La gota es más común en los varones y en raras ocasiones aparece antes de los 30 años. Tiende a producirse dentro de una misma familia, así que los factores genéticos están claramente implicados.

Si no se trata, la gota puede ser muy destructiva; el hueso termina fusionándose y la articulación queda inmovilizada. Afortunadamente, algunos medicamentos (colchicina e ibuprofeno, entre otros) consiguen prevenir los ataques agudos de gota. Se recomienda que los pacientes pierdan peso si son obesos, que eviten alimentos como el hígado, los riñones y las sardinas, que son ricos en ácido nucleico, y que no consuman alcohol, que inhibe la excreción de ácido úrico en los riñones. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

27. ¿Cuáles son las funciones de las articulaciones?
28. ¿Cuál es la principal diferencia entre las articulaciones fibrosas y las articulaciones cartilaginosas?
29. ¿Dónde se encuentra la membrana sinovial y cuál es su función?
30. ¿Qué dos articulaciones del cuerpo humano son enartrósicas? ¿Cuál es el mejor ejemplo de una articulación en silla de montar?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Formación y desarrollo del esqueleto

Como se ha descrito antes, los primeros "huesos largos" en los fetos muy jóvenes están compuestos por cartílago de hialina, y los primeros "huesos planos" del cráneo son en realidad membranas fibrosas. A medida que el feto crece y se desarrolla, los modelos de huesos largos y planos se van convirtiendo en hueso (Figura 5.32). En el momento del nacimiento, algunas fontanelas siguen aún en el cráneo para que el cerebro crezca, pero estas zonas ya suelen estar osificadas por completo a los dos años de edad. Al final de la adolescencia, las placas epifisarias de los huesos largos que facilitan el crecimiento longitudinal durante la niñez ya se han osificado por completo y termina el crecimiento óseo longitudinal.

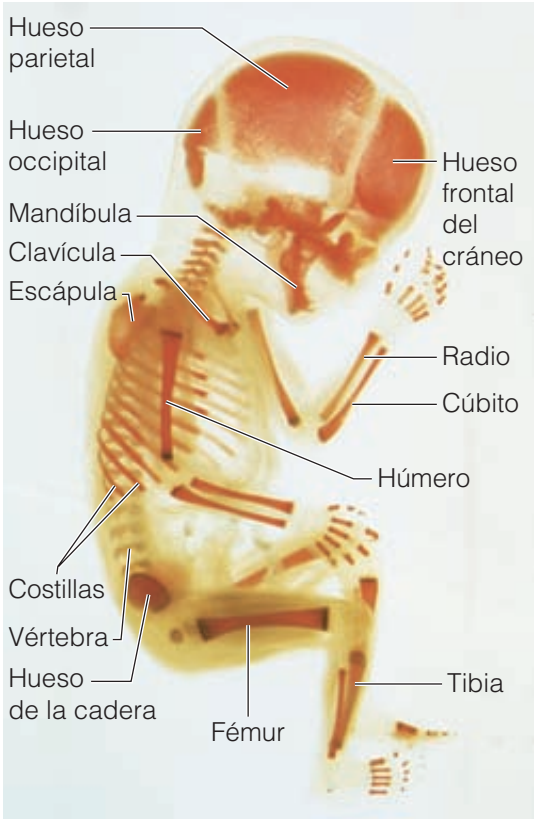
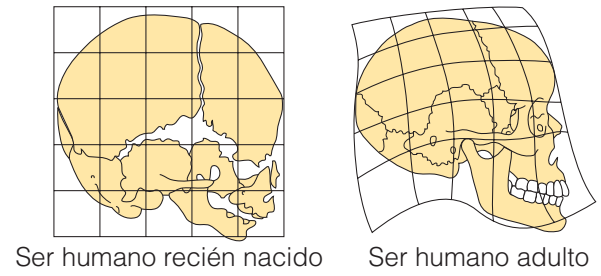
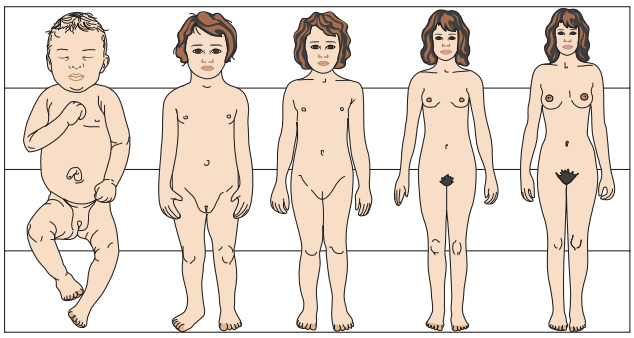


FIGURA 5.32 **Las zonas oscuras indican los centros de osificación del esqueleto de un feto de 12 semanas. Las zonas claras siguen siendo tejido fibroso o cartilaginoso.**

El esqueleto experimenta cambios durante toda nuestra vida, pero estos cambios son más drásticos en la infancia. En el nacimiento, el cráneo del bebé es enorme en comparación con su cara (Figura 5.33a). El rápido crecimiento del cráneo antes y después del nacimiento está relacionado con el crecimiento del cerebro. A los dos años de edad, el cerebro es tres cuartas partes el de un adulto; y, entre los ocho y nueve años



(a)



(b)

FIGURA 5.33 Diferencias del índice de crecimiento de algunas partes del cuerpo en comparación con otras para determinar las proporciones corporales. (a) El crecimiento diferencial transforma el cráneo redondo y escorzado de un recién nacido en el característico cráneo inclinado de los adultos. **(b)** Durante el crecimiento de un ser humano, los brazos y las piernas crecen más rápido que la cabeza y el tronco, como se muestra en esta conceptualización de los individuos distintos según su edad, todos dibujados a la misma altura.

de edad, ya tiene casi el tamaño y las proporciones del cerebro adulto. Sin embargo, entre los seis y once años de edad, la cabeza parece crecer significativamente a medida que la cara crece literalmente hacia afuera del cráneo. Las quijadas aumentan de tamaño, y los pómulos y la nariz se vuelven más prominentes a medida que se expanden las vías respiratorias y se desarrollan los dientes definitivos.

Las denominadas curvaturas primarias de la columna vertebral están presentes en el nacimiento y se convexan en su parte posterior, de modo que la espina dorsal de un bebé está arqueada, como la de un animal cuadrúpedo. Las curvaturas secundarias se convexan en su parte anterior y están asociadas con el posterior desarrollo del niño. Son el resultado de la remodelación de los discos intervertebrales en vez de las modificaciones de las vértebras óseas y producen la típica espina dorsal con forma de S de los adultos.

La mayoría de los casos de curvaturas espinales anormales, como la escoliosis y la lordosis (véase la Figura 5.16), son congénitas, pero algunas pueden ser consecuencia de lesiones. Las curvaturas anormales suelen tratarse mediante cirugía, abrazaderas o escayolas tras el diagnóstico. En el lenguaje general, las personas jóvenes y sanas carecen de problemas esqueléticos, suponiendo que su dieta sea nutritiva y que sean notablemente activas.

Durante la juventud, el crecimiento del esqueleto no sólo aumenta la altura y el tamaño de todo el cuerpo, sino que también cambia las proporciones corporales (Figura 5.33b). En el nacimiento, la cabeza y el tronco tienen una longitud aproximadamente 5,5 veces mayor que la de los miembros inferiores. Los miembros inferiores crecen más rápidamente que el tronco desde este momento, y a los diez años de edad, la cabeza y el tronco tienen aproximadamente la misma longitud que los miembros inferiores y cambian un poco de ahí en adelante. Durante la pubertad, la pelvis femenina se ensancha preparándose para el embarazo, y todo el esqueleto masculino se vuelve más robusto. Al alcanzar la altura adulta, un esqueleto saludable cambia muy poco hasta finales de la edad intermedia. En la vejez, las pérdidas de masa ósea se hacen más patentes.

No puede destacarse con demasiado entusiasmo que los huesos deban estresarse físicamente para permanecer saludables. Al permanecer activos físicamente y cuando los músculos y la gravedad tiran del esqueleto, los huesos responden fortaleciéndose. Por el contrario, si somos totalmente inactivos, se vuelven finos y frágiles. La **osteoporosis** es una enfermedad de adelgazamiento óseo que afecta a la mitad de las mujeres de más de 65 años y a un 20% de los varones de más de 70 años. La osteoporosis hace que los huesos se vuelvan tan frágiles que incluso un abrazo o un estornudo puede fracturarlos (Figura 5.34). Los huesos de la espina dorsal y el cuello del fémur son especialmente sensibles. El colapso de la columna vertebral produce con frecuencia una postura encorvada (cifosis) familiarmente conocida como gibosis (Figura 5.35).

El estrógeno ayuda a mantener la salud y la densidad normal del esqueleto femenino, y la carencia de estrógenos que se produce en las mujeres postmenopáusicas (“cambio de vida”, cuando la menstruación se interrumpe definitivamente) está muy implicada como causante de la osteoporosis. Otros factores que pueden contribuir a la osteoporosis son las dietas pobres en calcio y proteínas, la falta de vitamina D, el tabaco y la escasez de ejercicios de soporte de peso para tensar los huesos. Por desgracia, muchas personas mayores piensan que se están ayudando al “ahorrar fuerzas” y no

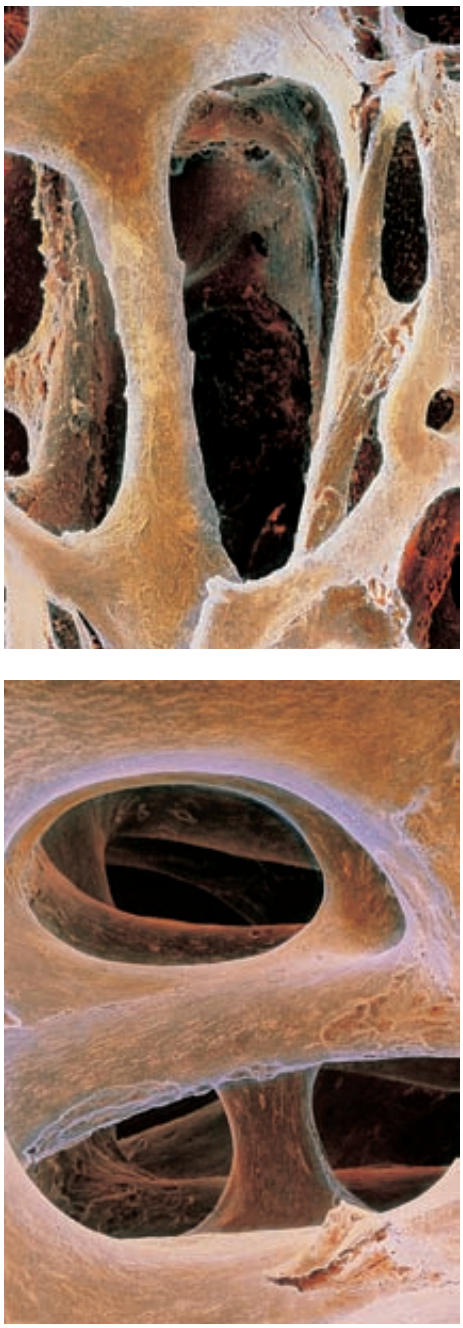


FIGURA 5.34 Osteoporosis. La arquitectura del hueso osteoporótico (arriba) se contrasta con la del hueso normal (abajo).

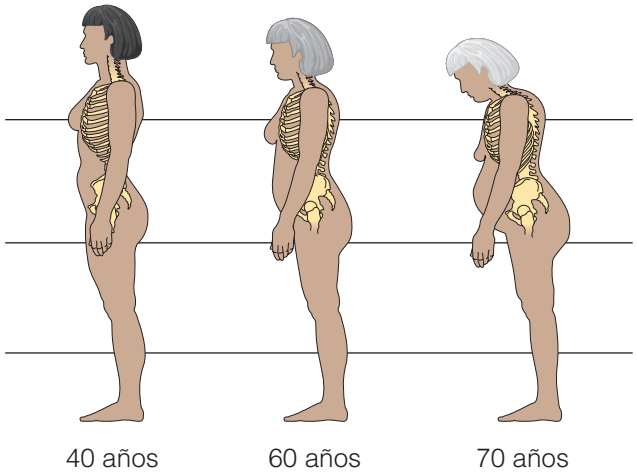


FIGURA 5.35 Colapso vertebral debido a la osteoporosis. Las mujeres con osteoporosis postmenopáusica tienen riesgo de presentar fracturas en los huesos de la espina dorsal (vértebras) a medida que envejecen. Posteriormente estas vértebras tienden a colapsarse gradualmente, lo que provoca la curvatura espinal. Tal curvatura provoca la pérdida de altura, un tórax inclinado, gibosis y un abdomen saliente.

hacer nada de ejercicio físico. La recompensa que obtienen son *fracturas patológicas* (roturas espontáneas sin ninguna lesión aparente), que aumentan drásticamente con la edad y son los problemas esqueléticos más comunes en este grupo de edad.

La edad también afecta a las articulaciones. Las articulaciones que soportan peso, en especial, empiezan a degenerarse, y es común que aparezca la *osteoartritis*. Tales cambios articulares degenerativos llevan a que oigamos quejarse a las personas mayores con frecuencia: "Me duelen todas las articulaciones...".

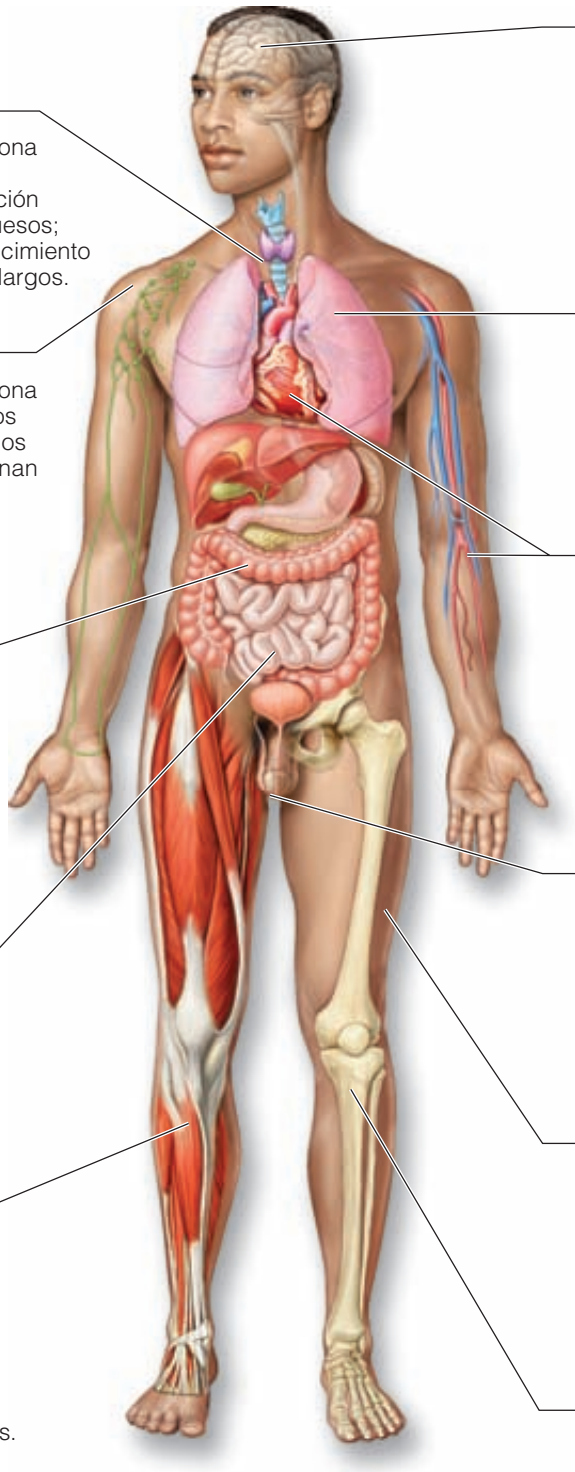
¿LO HAS ENTENDIDO?

31. ¿Qué curvaturas espinales están presentes en el nacimiento?
32. ¿En qué se diferencia la forma de la espina dorsal de un recién nacido de la de un adulto?
33. La Sra. Pérez de 90 años está gimiendo de dolor. Su nieto acaba de cogerla y darle un gran abrazo. ¿Qué crees que puede haberle pasado a su columna vertebral, y qué enfermedad ósea puede que esté padeciendo?
34. ¿Qué dos regiones del esqueleto crecen más rápidamente durante la infancia?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA ESQUELETICO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema endocrino

- El sistema esquelético proporciona algo de protección ósea.
- Las hormonas regulan la absorción y liberación del calcio de los huesos; las hormonas promueven el crecimiento y la maduración de los huesos largos.

Sistema linfático/inmunidad

- El sistema esquelético proporciona algo de protección a los órganos linfáticos; los linfocitos implicados en la respuesta inmune se originan en el tuétano.
- El sistema linfático drena los líquidos de tejido que se filtran; las células inmunitarias protegen contra los patógenos.

Sistema digestivo

- El sistema esquelético proporciona algo de protección ósea a los intestinos, los órganos pélvicos y el hígado.
- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para la salud y el crecimiento de los huesos.

Sistema urinario

- El sistema esquelético protege los órganos pélvicos (vejiga, etc.).
- El sistema urinario activa la vitamina D; elimina los desechos de nitrógeno.

Sistema muscular

- El sistema esquelético proporciona palancas y calcio para la actividad muscular.
- El empuje muscular sobre los huesos aumenta la fortaleza y la viabilidad óseas; ayuda a determinar la forma de los huesos.

Sistema nervioso

- El sistema esquelético protege el cerebro y la espina dorsal; depósito de iones de calcio necesarios para la función nerviosa.
- Los nervios inervan cápsulas óseas y articulares, que proporcionan la sensación de dolor y el sentido articular.

Sistema respiratorio

- El sistema esquelético (tórax) protege los pulmones mediante alojamientos.
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina el dióxido de carbono.

Sistema cardiovascular

- Las cavidades de tuétano óseo proporcionan un sitio para la formación de células sanguíneas; la matriz almacena el calcio necesario para la actividad muscular cardiaca.
- El sistema cardiovascular reparte nutrientes y oxígeno a los huesos; se lleva los desechos.

Sistema reproductor

- El sistema esquelético protege algunos órganos reproductores mediante alojamientos.
- Las gónadas producen hormonas que influyen en la forma del esqueleto y del cierre epifisario.

Sistema integumentario

- El sistema esquelético proporciona apoyo a los órganos corporales, incluida la piel
- La piel proporciona la vitamina D necesaria para la absorción y uso adecuados de calcio.

Sistema esquelético

RESUMEN

Las herramientas de información mediática que proporcionan una revisión adicional de los temas principales del Capítulo 5 se indican a continuación.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Huesos: descripción general (págs. 134-144)

1. Los huesos soportan y protegen los órganos; actúan como palancas de los músculos para impulsar y causar el movimiento de las articulaciones; almacenan calcio, grasas y otras sustancias para el cuerpo; y contienen tuétano rojo, el lugar de producción de células sanguíneas.
2. Los huesos se clasifican en cuatro grupos (largos, cortos, planos e irregulares), según su forma y la cantidad de hueso compacto o esponjoso que contengan. Las marcas óseas son importantes marcas anatómicas que revelan los puntos de unión de los músculos y por donde pasan los vasos sanguíneos y los nervios.
3. Un hueso largo está formado por un eje (diáfisis) con dos terminaciones (epífisis). El eje es hueso compacto; su cavidad contiene tuétano amarillo. Las epífisis están cubiertas por cartílago de hialina; contienen hueso esponjoso (donde se encuentra el tuétano rojo).

   WEB Actividad: Chapter 5, Microscopic Structure of Compact Bone.
4. Las partes orgánicas de la matriz hacen que el hueso sea flexible; las sales cálcicas depositadas en la matriz endurecen el hueso.
5. Los huesos se forman en "modelos" de cartílagos de hialina o membranas fibrosas. Posteriormente, estas estructuras iniciales de apoyo son sustituidas por tejido óseo. Las placas epifisarias permanecen para proporcionar el crecimiento longitudinal de los huesos largos durante la infancia y dejan de estar activos al término de la adolescencia.
6. Los huesos cambian de forma a lo largo de nuestra vida. Esta remodelación se produce en respuesta a las hormonas (por ejemplo, la PTH, que regula los niveles de calcio en la sangre) y las tensiones mecánicas que actúan en el esqueleto.
7. Una fractura es una rotura en un hueso. Los tipos comunes de fracturas pueden ser simples, compuestas, por compresión, conminutas y en rama verde. Las fracturas óseas deben reducirse para que se curen correctamente.

   WEB Actividad: Chapter 5, Common Types of Fractures.

Esqueleto axial (págs. 145-158)

1. El cráneo está formado por los huesos craneales y faciales. El cerebro está protegido por ocho huesos craneales: frontal, occipital, etmoides y esfenoides, y los pares de huesos parietales y temporales. Los 14 huesos faciales están por pares (maxilares, cigomáticos, palatinos, nasales, lagrimales y conchas nasales inferiores), excepto el vómer y la mandíbula. El hueso hioides, que no es un hueso del cráneo en realidad, está apoyado en el cuello mediante ligamentos.

   WEB Actividad: Chapter 5, Facial Bones.
2. El cráneo de los recién nacidos contiene fontanelas (zonas membranosas) que permiten el crecimiento del cerebro. Los huesos faciales de los bebés son muy pequeños en comparación con el tamaño de su cráneo.
3. La columna vertebral está formada por 24 vértebras, el sacro y el coxis. Hay 7 vértebras cervicales, 12 vértebras torácicas y 5 vértebras lumbares, que poseen características comunes y características exclusivas. Las vértebras están separadas por discos fibrocartilaginosos que hacen que la columna vertebral sea flexible. La columna vertebral tiene forma de S para permitir la postura erecta. Las curvaturas espinales primarias presentes en el nacimiento son las curvaturas torácica y sacra; las curvaturas secundarias (cervicales y lumbares) se desarrollan tras el nacimiento.

   WEB Actividad: Chapter 5, Typical Vertebra.
4. El tórax óseo está formado por el esternón y 12 pares de costillas. Todas las costillas están unidas por su parte posterior a las vértebras torácicas. Por su parte anterior, los primeros 7 pares están unidos directamente al esternón (costillas verdaderas); los últimos 5 pares están unidos de forma indirecta o no están unidos en absoluto (costillas falsas). El tórax óseo aloja los pulmones, el corazón y otros órganos de la cavidad torácica.

Esqueleto apendicular (págs. 158-166)

1. La cintura escapular, formada por dos huesos (la escápula y la clavícula), une el miembro superior al esqueleto axial. Se trata de una cintura ligera pero escasamente reforzada que dota de gran libertad de movimiento al miembro superior. Hay dos cinturas de hombro.

   WEB Actividad: Chapter 5, Articulations Case Study.
2. Los huesos del miembro superior incluyen el húmero del brazo, el radio y cúbito del antebrazo, y los carpianos, metacarpianos y falanges de la mano.
3. La cintura pélvica está formada por dos huesos coxales (o huesos de la cadera). Cada hueso de la cadera es el resultado de la fusión del ilion, el isquion y el pubis. La cintura pélvica está firmemente unida al sacro del esqueleto axial, y la cuenca del hueso del muslo es profunda y está muy reforzada. Esta cintura recibe el peso de la parte superior del cuerpo y lo transmite a los miembros inferiores. Las pelvis femenina es más ligera y ancha que la masculina; su entrada y salida es mayor, lo que refleja la función del parto.

4. Los huesos de los miembros inferiores incluyen el fémur de los muslos, la tibia y el peroné de las piernas, y los tarsianos, metatarsianos y falanges de los pies.

Articulaciones (págs. 166-174)

1. Las articulaciones mantienen los huesos juntos y permiten el movimiento del esqueleto.
2. Las articulaciones se dividen en tres categorías funcionales: sinartrosis (inmóviles), anfiartrosis (ligeramente móviles) y diartrosis (totalmente móviles).
3. Las articulaciones también pueden clasificarse según su estructura como fibrosas, cartilaginosas o sinoviales en función de la sustancia que separe los huesos de las articulaciones.
4. La mayoría de las articulaciones fibrosas son sinartrosis, y la mayoría de las articulaciones cartilaginosas son anfiartrosis. Las articulaciones fibrosas y cartilaginosas se forman principalmente en el esqueleto axial.
5. La mayoría de las articulaciones del cuerpo son sinoviales, que predominan en los miembros. En las articulaciones sinoviales, las superficies óseas de las articulaciones están cubiertas de cartílago articular y se alojan en la cavidad articular mediante una cápsula fibrosa rodeada por una membrana sinovial. Todas las articulaciones sinoviales son diartrosis..

   WEB Actividades: Chapter 5, Types of Synovial Joints.

6. El problema articular más común es la artritis (o inflamación de las articulaciones). La osteoartritis (o artritis degenerativa) es el resultado de la hipertrofia de las articulaciones a lo largo de muchos años y es una afectación común del envejecimiento. La artritis reumatoide se produce tanto en adultos jóvenes como en personas mayores; se cree que se trata de una enfermedad autoinmune. La artritis gotosa, provocada por el depósito de cristales de ácido úrico en las articulaciones, suele afectar a una sola articulación.

Formación y desarrollo del esqueleto (págs. 174-176)

1. Las fontanelas, que permiten el crecimiento cerebral y facilitan la salida del bebé en el parto, están presentes en el cráneo en el momento del nacimiento. El crecimiento craneal tras el nacimiento está relacionado con el crecimiento cerebral; al aumento del tamaño del esqueleto facial le sigue el desarrollo de los dientes y el agrandamiento de las vías respiratorias.
2. La columna vertebral tiene forma de C en el nacimiento (curvaturas torácica y sacra); las curvaturas secundarias se forman cuando el bebé comienza a levantar la cabeza y a caminar.
3. Los huesos largos continúan creciendo longitudinalmente hasta la adolescencia tardía. A los diez años, la cabeza y el tronco tienen aproximadamente la misma longitud que los miembros inferiores y cambian un poco de ahí en adelante.
4. Las fracturas son el problema óseo más común en las personas mayores. La osteoporosis, una enfermedad de desgaste óseo que se debe principalmente a la carencia hormonal o a la actividad, también es común en las personas mayores.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. ¿Cuál de estas asociaciones es correcta?
   a. Hueso corto-muñeca.
   b. Hueso largo-pierna.
   c. Hueso irregular-esternón.
   d. Hueso plano-cráneo.
2. Una vía que conecta los osteocitos cercanos para formar un osteón es
   a. un canal central.
   b. una laminilla.
   c. una laguna.
   d. un canalículo.
   e. un canal perforante.
3. ¿Cuál de los siguientes elementos dirías que predomina en los osteoclastos?
   a. Aparato de Golgi.
   b. Lisosomas.
   c. Microfilamentos.
   d. Exocitosis.
4. El dolor de huesos detrás del meato acústico externo probablemente viene
   a. del maxilar.
   b. del etmoides.
   c. del esfenoides.
   d. del temporal.
   e. del lagrimal.
5. Los huesos que se articulan con el esfenoides son
   a. el parietal.
   b. el vómer.
   c. el maxilar.
   d. el cigomático.
   e. el etmoides.
6. ¿Qué apófisis humeral se articula con el radio?
   a. Tróclea.
   b. Tubérculo mayor.
   c. Tubérculo menor.
   d. Cóndilo.
   e. Fosa del olécranon.
7. Las partes de las vértebras torácicas que se articulan con las costillas son
   a. la apófisis espinosa.
   b. la apófisis transversa.
   c. las apófisis articulares superiores.
   d. el cuerpo.
   e. los pedículos.

8. ¿Cuál de los siguientes huesos o partes óseas se articulan con el fémur?
   a. Tuberosidad isquiática.
   b. Pubis.
   c. Rótula.
   d. Peroné.
   e. Tibia.

9. ¿Qué hueso del brazo corresponde al fémur de la pierna?
   a. Cúbito.
   b. Húmero.
   c. Radio.
   d. Tibia.
   e. Peroné.

10. ¿En qué fase de la vida los miembros inferiores alcanzan la misma longitud que la cabeza y el tronco?
    a. En el nacimiento.
    b. A los diez años de edad.
    c. En la pubertad.
    d. Cuando se fusionan las placas epifisarias.
    e. Nunca.

11. Une los tipos de articulaciones con sus descripciones correspondientes. (Puede haber más de una correspondencia.)
    a. Articulaciones fibrosas.
    b. Articulaciones cartilaginosas.
    c. Articulaciones sinoviales.

____ 1. Carecen de cavidad articular.
____ 2. Pueden ser suturas o sindesmosis.
____ 3. El tejido conectivo denso rellena el espacio entre los huesos.
____ 4. Casi todas las articulaciones del cráneo.
____ 5. Pueden ser sincondrosis o sínfisis.
____ 6. Todas son diartrosis.
____ 7. El tipo de articulación más común del cuerpo.
____ 8. Casi todas son sinartrosis.
____ 9. Las articulaciones del hombro, la cadera, la rodilla y el codo.

12. Une las marcas óseas de la derecha con su función de la izquierda.

1. Punto de unión del músculo o ligamento.	a. Trocánter.
2. Forma una superficie articular.	b. Cóndilo.
3. Vía para los vasos y nervios.	c. Foramen.
	d. Apófisis.
	e. Faceta.
	f. Tuberosidad.

Respuesta breve

13. Nombra tres funciones del sistema esquelético.

14. ¿Qué es el tuétano amarillo? ¿En qué se diferencia el hueso esponjoso del hueso compacto?

15. ¿Por qué las lesiones óseas se curan mucho más rápido que las lesiones del cartílago?

16. Compara y contrasta la función de la PTH (hormona) y las fuerzas mecánicas que actúan en el esqueleto en la remodelación ósea.

17. ¿Qué tipos de fractura son más comunes en las personas mayores? ¿Por qué las fracturas en rama verde son más comunes en los niños?

18. Nombra los ocho huesos del cráneo.

19. Con una excepción, todos los huesos del cráneo están unidos por suturas. ¿Cuál es la excepción?

20. ¿Qué hueso facial forma la barbilla? ¿El pómulo? ¿La quijada superior? ¿Los puentes óseos de las cejas?

21. Nombra dos diferencias entre el cráneo de un feto y el de un adulto.

22. ¿Cuántas vértebras hay en las tres zonas superiores de la columna vertebral?

23. Dibuja las curvaturas espinales normales y, a continuación, las curvaturas que caracterizan a la escoliosis y la lordosis.

24. ¿Qué función tienen los discos intervertebrales? ¿Qué es un disco resbalado?

25. Nombra los principales componentes del tórax.

26. ¿Una costilla flotante es una costilla verdadera o falsa? ¿Por qué se rompen fácilmente las costillas flotantes?

27. Nombra los huesos de la cintura escapular.

28. Nombra todos los huesos con los que se articula el cúbito.

29. ¿Qué huesos forman cada hueso de la cadera (hueso coxal)? ¿Cuál de ellos es mayor? ¿Cuál posee tuberosidades sobre las que nos sentamos? ¿Cuál está en la parte más anterior?

30. Nombra los huesos de los miembros inferiores de arriba a abajo.

31. Compara la cantidad de movimiento posible de las articulaciones sinartrosis, anfiartrosis y diartrosis. Relaciona estos términos con la clasificación estructural de las articulaciones; es decir, con las articulaciones fibrosas, cartilaginosas y sinoviales.

32. Describe la estructura de una articulación sinovial.

33. El profesor González señaló el agujero magno del cráneo y afirmó: "La comida pasa por este agujero cuando tragamos". Algunos estudiantes le creyeron, pero otros afirmaron que se trataba de un gran error. ¿Tú qué opinas? Argumenta tu respuesta.

34. A Yolanda le piden que revise un deslizamiento óseo que se observa microscópicamente. Ella ve capas concéntricas alrededor de una cavidad o canal central. ¿Esta sección ósea se ha tomado de la diáfisis o de la placa epifisaria de un espécimen óseo?

35. Enumera dos factores que mantienen los huesos sanos. Enumera dos factores que pueden ablandar o atrofiar los huesos.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

36. Una mujer de 75 años y su nieta de 9 tuvieron un accidente de tren en el que ambas sufrieron un traumatismo torácico mientras estaban sentadas juntas. Las radiografías revelaron que la abuela presentaba varias costillas fracturadas, mientras que su nieta no tenían ninguna. Explica estos resultados tan sorprendentemente (?) distintos.

37. La pediatra de la clínica explica a los padres de un recién nacido que su hijo presenta un paladar fisurado. Ella les explica que el paladar normal se fusiona en un modelo de la parte anterior a la posterior. Las apófisis palatinas del bebé no se han fusionado. ¿Su paladar se ha fusionado de forma normal?

38. Tras padecer un intenso resfriado acompañado de congestión nasal, Elena refiere una cefalea frontal y dolor en la parte derecha de la cara. ¿Qué estructuras óseas se han visto afectadas probablemente por las bacterias o virus causantes del resfriado?

39. Beatriz, una mujer de 75 años, se tambalea levemente al caminar; a continuación, siente un terrible dolor en la cadera izquierda. En el hospital, las radiografías revelan una fractura de cadera. Además, el hueso compacto y esponjoso de la columna vertebral es muy fino. ¿Qué enfermedad es más probable que presente?

40. En el trabajo, una caja se cae de la estantería encima de la región acromial de Berta. En la sala de urgencias, el médico nota que la cabeza del húmero se ha desplazado hasta la axila. ¿Qué le ha pasado a Berta?

41. La radiografía del brazo de una víctima de un accidente revela una tenua línea que se curva en torno al eje y hacia abajo de éste. ¿Qué tipo de fractura puede indicar esto?

42. A veces, las radiografías de huesos se utilizan para determinar si una persona ha alcanzado su altura definitiva. ¿Qué comprueban los médicos de la clínica?

43. Un paciente refiere un dolor que se inicia en la mandíbula y se irradia hacia abajo hasta el cuello. Cuando se le pregunta más tarde, el paciente afirma que cuando tiene estrés, rechina con los dientes. ¿Qué articulación es la causante de su dolor?

44. El doctor Jiménez está palpando la columna vertebral de Juana para determinar si está empezando a mostrar escoliosis. ¿Qué parte o zona de las vértebras está tocando a medida que recorre los dedos por su espina dorsal?

CAPÍTULO

6

El sistema muscular

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN FUNCIONAL

- El sistema muscular permite el movimiento del cuerpo y sus distintas partes, mantiene las posturas corporales, genera calor y estabiliza las articulaciones.

NUESTROS OBJETIVOS

Visión general de los tejidos musculares (págs. 183-187)

- Describir las semejanzas y las diferencias en la estructura y el funcionamiento de los tres tipos de tejidos musculares e indicar dónde se encuentran en el cuerpo.
- Definir el *sistema muscular*.
- Definir y explicar el papel de los siguientes elementos: *endomisio, perimisio, epimisio, tendón* y *aponeurosis*.

Anatomía microscópica de los músculos esqueléticos (págs. 187-189)

- Describir la estructura microscópica de los músculos esqueléticos y explicar el papel que desempeñan los miofilamentos que contienen actina y miosina.

Actividad de los músculos esqueléticos (págs. 189-198)

- Describir la forma en que se inicia un potencial de acción en una célula muscular.
- Describir el proceso de contracción de las células musculares.

- Definir los términos *respuesta gradual, tétanos, contracciones isotónicas* e *isométricas* y *tono muscular* en relación con los músculos esqueléticos.
- Describir tres formas de regeneración del ATP durante la actividad muscular.
- Definir *déficit de oxígeno* y *fatiga muscular,* y enumerar las posibles causas de ésta.
- Describir los efectos del ejercicio aeróbico y de resistencia en los músculos esqueléticos y en otros órganos corporales.

Movimientos musculares, tipos y nombres **(págs. 198-206)**

- Definir los términos *origen, inserción, músculo principal, antagonista, sinérgico* y *estabilizador* en el contexto de los músculos.
- Mostrar o identificar los distintos tipos de movimientos corporales.
- Conocer los criterios utilizados para denominar los músculos.

Anatomía básica de los músculos esqueléticos **(págs. 206-219)**

- Nombrar y localizar los principales músculos del cuerpo humano (en un modelo de torso, en un cuadro de músculos o en un diagrama) y explicar la función de cada uno.

Formación y desarrollo del sistema muscular **(pág. 221)**

- Explicar la importancia del aporte nervioso y del ejercicio para mantener los músculos sanos.
- Describir los cambios que se producen al envejecer los músculos.

Debido a que al flexionar los músculos éstos parecen ratones que corrieran a refugiarse por debajo de la piel, hace muchos años unos científicos los denominaron *músculos,* de la palabra latina *mus* que significaba "pequeño ratón". De hecho, los tensos músculos de los boxeadores profesionales o de los levantadores de pesas son a menudo la primera imagen que nos viene a la mente cuando escuchamos la palabra *músculo.* Sin embargo, un músculo es también el tejido dominante en el corazón y en las paredes de otros órganos huecos del organismo. En todas sus formas, los músculos constituyen cerca de la mitad de la masa corporal.

La función fundamental de los músculos es la *contracción* o el *acortamiento,* una característica única que los distingue del resto de los tejidos corporales. Por consiguiente, los músculos son los responsables de prácticamente todos los movimientos corporales y podemos considerarlos como las "máquinas" del organismo.

Visión general de los tejidos musculares

Tipos de músculos

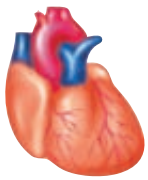
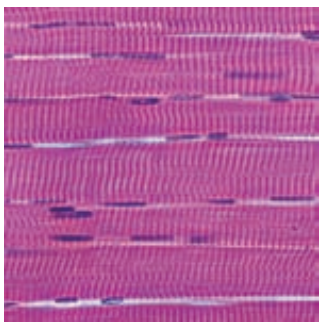
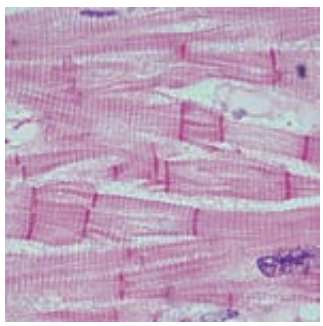
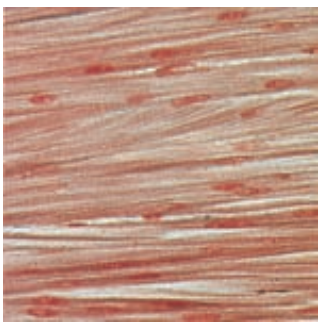
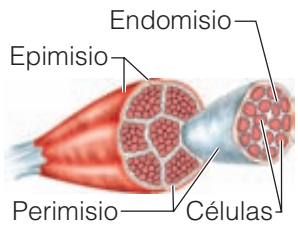
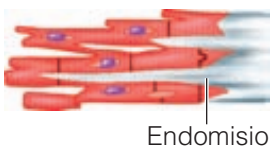
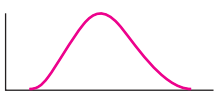
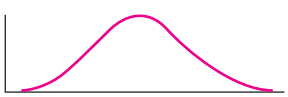
Existen tres tipos de tejido muscular: esquelético, cardiaco y liso. Como se puede observar en la Tabla 6.1, éstos difieren en la estructura celular, en la ubicación en el cuerpo y en el modo en que se estimulan para contraerse. Sin embargo, antes de explorar estas diferencias, echemos un vistazo a las semejanzas que presentan.

En primer lugar, las células musculares de los tejidos esquelético y liso son alargadas. Por ello, este tipo de células musculares (aunque no las cardiacas) se denominan **fibras musculares.** En segundo lugar, la capacidad de un músculo de contraerse y acortarse depende de dos tipos de *miofilamentos,* las células musculares equivalentes a los microfilamentos del citoesqueleto que hemos estudiado en el Capítulo 3. Otra semejanza está relacionada con la terminología. Siempre que veas los prefijos *mio* y *mis* ("músculo") y *sarco* ("carne"), sabrás que guardan relación con los músculos. Por ejemplo, en las células musculares el citoplasma se denomina *sarcoplasma.*

Músculos esqueléticos

Las **fibras musculares esqueléticas** están empaquetadas en los órganos denominados *músculos esqueléticos,* que se adhieren al esqueleto corporal. Puesto que los músculos esqueléticos cubren nuestros "soportes" óseos, ayudan a formar unos contornos más lisos en nuestro organismo. Las fibras musculares esqueléticas son células grandes, multinucleares y con forma de puro. Son el tipo más grande de fibras musculares; al-

TABLA 6.1 Comparación de los músculos esqueléticos, cardíacos y lisos

Característica	Esqueléticos	Cardiacos	Lisos
Ubicación en el cuerpo	Adheridos a los huesos o, en el caso de algunos músculos faciales, a la piel	En las paredes del corazón	Principalmente en las paredes de los órganos viscerales huecos (no el corazón)
			
Forma y apariencia de las células	Células multinucleares, cilíndricas, muy largas y únicas con estriaciones claramente visibles	Cadenas ramificadas de células; mononucleares, con estriaciones; discos intercalados	Mononucleares, fusiformes, únicas; sin estriaciones
			
Componentes del tejido conectivo	Epimisio, perimisio y endomisio	Endomisio adherido al esqueleto fibroso del corazón	Endomisio
			
Regulación de la contracción	Voluntaria, a través de los controles del sistema nervioso	Involuntaria; el corazón tiene un pacificador; también controles del sistema nervioso; hormonas	Involuntaria; controles del sistema nervioso; hormonas, sustancias químicas, extendida
Velocidad de contracción	De lenta a rápida	Lenta	Muy lenta
			
Contracción rítmica	No	Sí	Sí, en algunos

gunas con un tamaño de unos 30 cm de largo. De hecho, las fibras de los músculos grandes sometidos a un trabajo intenso, como los músculos antigravitatorios de la cadera, son tan grandes y gruesas que pueden verse a simple vista.

Los músculos esqueléticos también se conocen como **músculos estriados** (porque sus fibras presentan unas rayas visibles), o como **músculos voluntarios** (porque son el único tipo de músculos sometidos a un control consciente). Sin embargo, resulta importante reconocer que los músculos esqueléticos a menudo se activan también mediante reflejos (sin nuestra "orden voluntaria"). Al pensar en el tejido muscular esquelético, las principales palabras que debes recordar son: *esquelético, estriado* y *voluntario.*

El tejido muscular esquelético se puede contraer rápidamente y con una gran fuerza, pero se cansa con facilidad y debe descansar después de breves periodos de actividad.

Las fibras musculares esqueléticas, como la mayoría de las células, son blandas y sorprendentemente frágiles, si bien los músculos esqueléticos pueden producir una potencia tremenda; de hecho, la fuerza que generan, como cuando levantamos una pesa, es a menudo mucho mayor que la requerida para esa tarea. ¿Por qué? La razón por la que no se rompen cuando producen dicha fuerza es que miles de sus fibras están unidas en un bloque por el tejido conectivo, que proporciona fuerza y sirve de sustento a todo el músculo (Figura 6.1). Cada fibra muscular se encuentra envuelta en una delicada envoltura de tejido conectivo, denominada **endomisio.** Varias de estas fibras musculares se encuentran envueltas a su vez por una membrana fibrosa más gruesa denominada **perimisio** para formar un haz de fibras denominado **fascículo.** Muchos fascículos están unidos por un "abrigo" aún más grueso de tejido conectivo denominado **epimisio,** que cubre todo el músculo. Los epimisios se mezclan con los fuertes **tendones,** con forma de cuerda, o con las planas **aponeurosis** que adhieren de forma indirecta los músculos a los huesos, los cartílagos o las cubiertas de tejido conectivo.

A parte de la función de anclaje de los músculos, los tendones desempeñan otras funciones. Las más importantes son proporcionar durabilidad y conservar el espacio. En su mayoría, los tendones son fibras colagénicas resistentes que pueden cruzar partes salientes de los huesos que rasgarían los tejidos musculares más delicados. Debido a su tamaño relativamente pequeño, por una articulación pueden pasar más tendones que músculos carnosos.

Muchas personas piensan que los músculos tienen siempre un "vientre" que se estrecha en un tendón en cada extremo. Sin embargo, los músculos varían considerablemente en la forma en que se disponen sus fibras. Muchos tienen forma de huso, como acabamos de describir, pero en otros las fibras se disponen en forma de abanico o de círculo, como se describe en la pág. 205.

¿Qué significa epi-? ¿y mis-? ¿Qué relación guardan estos prefijos con la función y la posición del epimisio?

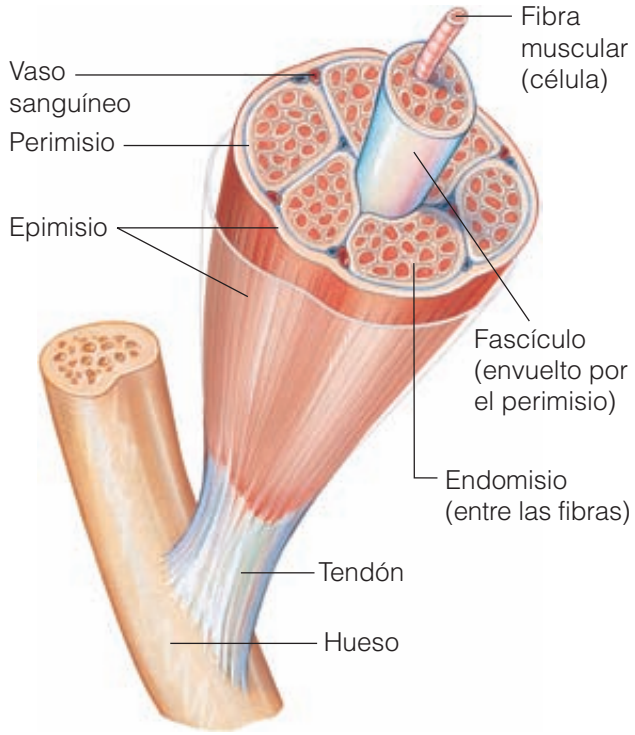


FIGURA 6.1 Envolturas de tejido conectivo de los músculos esqueléticos.

Los músculos lisos

Los **músculos lisos** no tienen estriaciones y son involuntarios, lo que significa que no se pueden controlar de forma consciente. Se encuentran principalmente en las paredes de los órganos viscerales huecos, como el estómago, la vejiga urinaria o las vías respiratorias. Los músculos lisos impulsan sustancias a lo largo de un tracto determinado o una vía concreta del organismo. Los términos *visceral, sin estriaciones* e *involuntario* son los que mejor definen este tipo de músculos.

Epi = sobre, encima, al lado de; mis = músculo. El epimisio es una funda situada sobre o encima de un músculo.

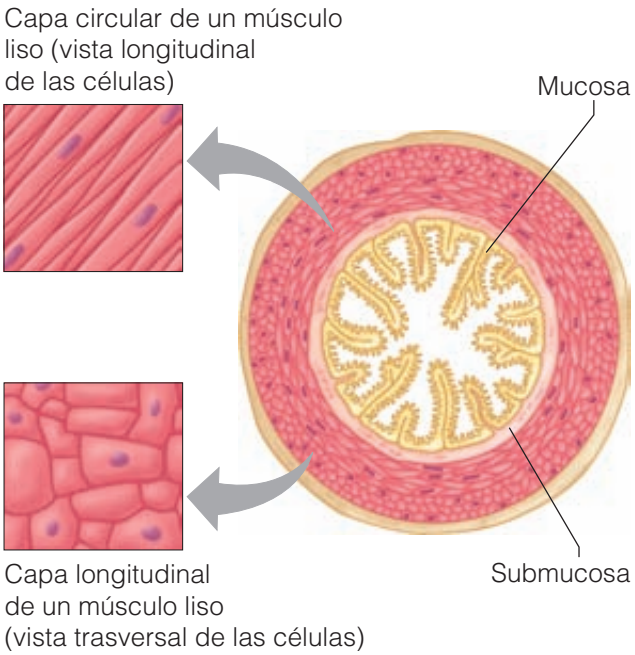


FIGURA 6.2 Disposición de las células musculares cardiacas y lisas. (a) Diagrama de una sección trasversal del intestino. **(b)** Vista longitudinal del corazón. Muestra la disposición en espiral de las células musculares cardiacas en sus paredes.

Como se describe en el Capítulo 3, las células musculares lisas tienen forma de huso, son mononucleares y están rodeadas por un frágil endomisio (véase también la Tabla 6.1 en la pág. 184). Se disponen en capas que en la mayoría de los casos son dos: una en sentido circular y otra en sentido longitudinal, como se muestra en la Figura 6.2a. A medida que las capas se contraen y se relajan de forma alternativa, modifican el tamaño y la forma del órgano. Mover la comida a través del tracto digestivo y vaciar el intestino y la vejiga son ejemplos típicos de actividades que realizan los músculos lisos. La contracción de los músculos lisos es lenta y sostenida. Si los músculos esqueléticos son como un veloz coche de carreras que se queda rápido sin gasolina, los músculos lisos son como un motor de alto rendimiento que funciona sin descanso.

El músculo cardiaco

El **músculo cardiaco** se encuentra sólo en un lugar del cuerpo: el corazón, donde constituye la mayor parte de las paredes éste. El corazón actúa como una bomba que impulsa la sangre por los vasos sanguíneos a todos los tejidos del cuerpo. El músculo cardiaco es como los esqueléticos, en el sentido de que tiene estriaciones, y como los lisos, en el sentido de que es involuntario y no se puede controlar de forma consciente. Algunas palabras clave para recordar este tipo de músculo son: *cardiaco, estriado* e *involuntario.*

Las fibras cardiacas están protegidas por pequeñas cantidades de tejidos conectivos blandos, disponen en espiral o en grupos de ocho, como se muestra en la Figura 6.2b. Cuando el corazón se contrae, sus cámaras internas se vuelven más pequeñas, e impulsan la sangre hacia las grandes arterias que salen del corazón. Hay que recordar que las fibras del músculo cardiaco son células ramificadas que se unen mediante juntas especiales denominadas *discos intercalados* (véase la Figura 3.20 en la pág. 99). Estas dos características estructurales y la disposición en espiral de los grupos de músculos del corazón permiten que la actividad cardiaca esté altamente coordinada. Los músculos cardiacos a menudo se contraen a un ritmo continuo fijado por el pacificador "interno" del corazón, pero el corazón también puede verse estimulado por el sistema nervioso para cambiar a "la marcha más alta" durante pequeños periodos, como cuando corremos para coger el autobús.

Como puedes observar, cada uno de los tres tipos de músculos presenta una estructura y una función apropiada para su labor en el organismo. No obstante, dado que el término *sistema muscular* se aplica específicamente a los músculos esqueléticos, en este capítulo nos centraremos en este tipo de músculos.

Las funciones de los músculos

Producir movimientos es una función común de *todos* los tipos de músculos, pero los músculos esqueléticos desempeñan también otros tres papeles importantes en el organismo: *mantener las posturas corporales, estabilizar las articulaciones* y *producir calor*. Veámoslas con más detalle.

Producción de movimiento

Casi todos los movimientos del cuerpo humano son resultado de la contracción de los músculos. La movilidad del cuerpo en su conjunto refleja la actividad de los músculos esqueléticos, responsables de la locomoción (caminar, nadar o esquiar, por ejemplo) y del trabajo con las manos. Nos permiten responder con velocidad a los cambios del entorno. Por ejemplo, su velocidad y su potencia nos permiten apartarnos de un salto de la trayectoria de un coche que va a toda velocidad. Asimismo, nos permite expresar nuestros sentimientos y emociones con el lenguaje corporal mediante sonrisas y muecas.

Éstos difieren de los músculos lisos de las paredes de los vasos sanguíneos y de los músculos cardiacos del corazón, los cuales trabajan juntos para hacer circular la sangre y mantener la presión sanguínea, y de los músculos lisos de otros órganos huecos que impulsan los fluidos (orina, bilis) y otras sustancias (comida, un bebé) a través de los canales corporales internos.

Mantenimiento de la postura

Rara vez somos conscientes del trabajo que realizan los músculos esqueléticos a la hora de mantener la postura corporal. Lo cierto es que ellos trabajan continuamente realizando un pequeño ajuste tras otro de forma que podamos mantener una postura erguida o nos mantengamos erguidos al sentarnos, a pesar de la gravedad constante a la que estamos sometidos.

Estabilización de las articulaciones

Al tiempo que los músculos esqueléticos tiran de los huesos para producir movimientos, también estabilizan las articulaciones del esqueleto. De hecho, los tendones de los músculos tienen una gran importancia a la hora de reforzar y estabilizar las articulaciones que tienen superficies articuladas con un encaje deficiente (como la articulación del hombro).

Generación de calor

La cuarta función de los músculos, la generación de calor corporal, es consecuencia de la actividad muscular. Puesto que se utiliza ATP para conferir potencia a las contracciones musculares, cerca de tres cuartos de su energía se libera en forma de calor. Este calor resulta fundamental a la hora de mantener una temperatura corporal normal. Los músculos esqueléticos constituyen al menos el 40% de la masa corporal, así que son el tipo de músculos que mayor cantidad de calor generan.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿En qué se diferencian las células de los tres tipos de tejidos musculares, anatómicamente hablando?
2. ¿Qué tipo de músculo presenta las envolturas de tejido conectivo más complejas?
3. ¿Qué significa **estriado** en relación con las células musculares?
4. ¿En qué se diferencian los movimientos causados por un músculo esquelético de los provocados por un músculo liso?

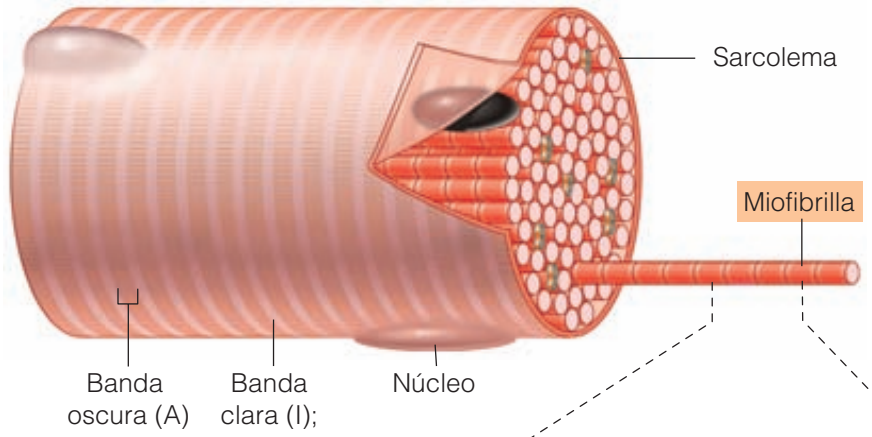
Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Anatomía microscópica de los músculos esqueléticos

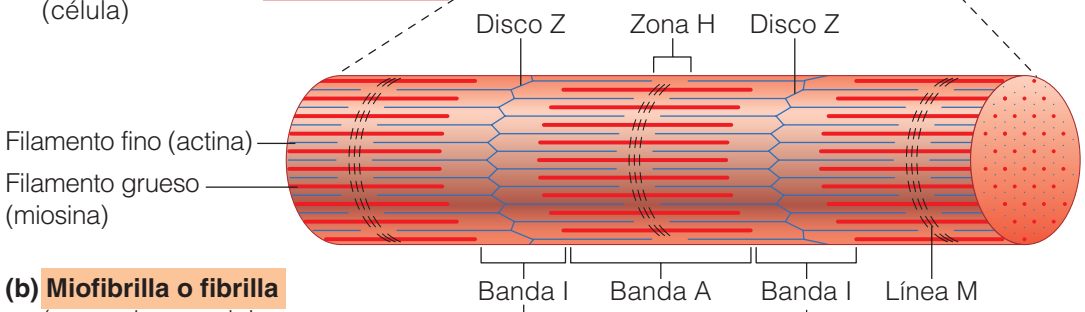
Las células musculares esqueléticas son multinucleares (Figura 6.3a). Pueden observarse muchos núcleos ovalados por debajo de la membrana de plasma o **sarcolema** ("cáscara del músculo") en las células musculares. Los núcleos se ven apartados por organelas largas con forma de cinta, las **miofibrillas,** que prácticamente llenan el citoplasma. Las **bandas** alternativas **claras (I)** y **oscuras (A)** alineadas de forma perfecta a lo largo de las miofibrillas proporcionan a la célula muscular una apariencia rayada (acuérdate de la segunda letra de las palabras inglesas *light* [I] y *dark* [A] para acordarte de las dos bandas). Si analizamos con más detalle el patrón de bandas, veremos que la banda I tiene una interrupción en el centro, una zona más oscura denominada *disco Z*, y la banda A tiene una zona central más clara llamada *zona H* (Figura 6.3b). La *línea M* del centro de la zona H contiene unas pequeñas varas de proteínas que mantienen unidos los filamentos adyacentes.

¿Por qué se habla de términos oscuros y claros? Porque el patrón de bandas revela la estructura de funcionamiento de las miofibrillas. En primer lugar, tenemos que las miofibrillas son en verdad cadenas de pequeñas unidades contráctiles denominadas **sarcómeros,** que están alineadas de extremo a extremo como un furgón de mercancías en un tren a lo largo de las miofibrillas. En segundo lugar, es la colocación de estructuras incluso más pequeñas (miofilamentos) dentro de los sarcómeros la que realmente produce el patrón de bandas.

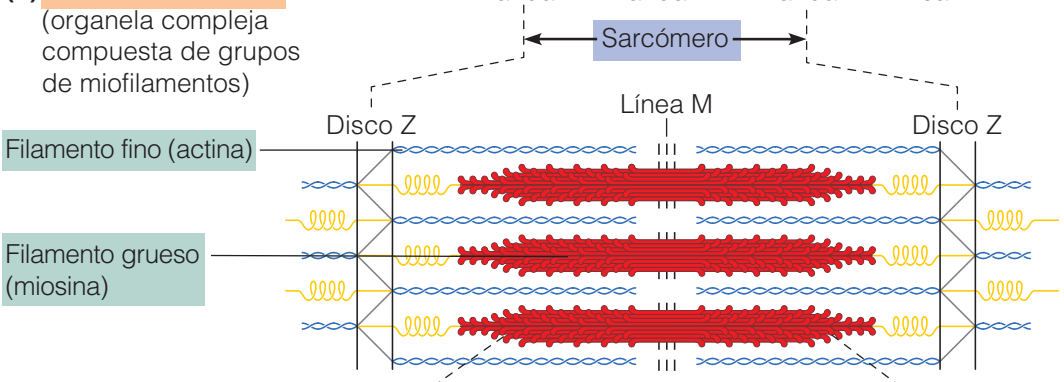
Examinemos ahora cómo la colocación de los miofilamentos nos conduce al patrón de bandas. Existen tres tipos de **miofilamentos** de proteína con forma de hilo dentro de cada uno de los sarcómeros con forma de "furgón de mercancías" (Figura 6.3c). Los **filamentos grue-**



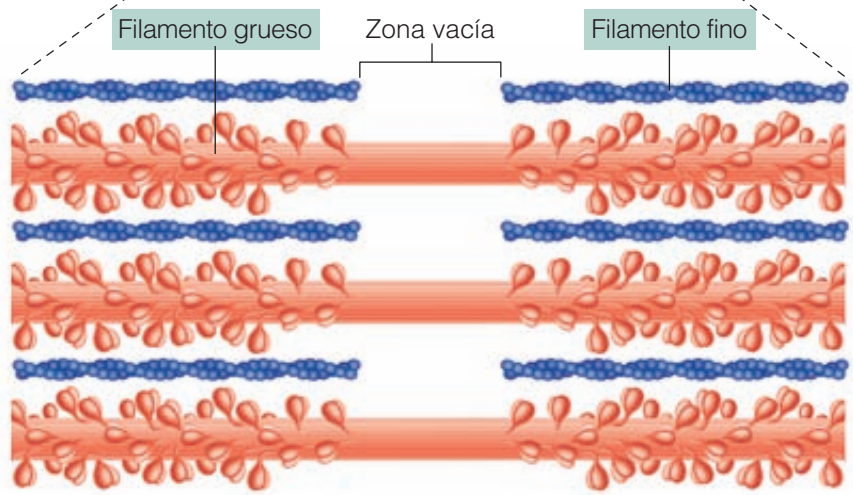
(a) Segmento de una fibra muscular (célula)



(b) Miofibrilla o fibrilla (organela compleja compuesta de grupos de miofilamentos)



(c) Sarcómero (segmento de una miofibrilla)



(d) Estructura de un miofilamento (dentro de un sarcómero)

FIGURA 6.3 Anatomía de las fibras de un músculo esquelético (células).
(a) Porción de una fibra muscular. Se ha extendido una miofibrilla. **(b)** Vista aumentada de una sección de una miofibrilla que muestra su patrón de bandas. **(c)** Vista aumentada de un sarcómero (unidad contráctil) de una miofibrilla. **(d)** Estructura de los miofilamentos gruesos y finos que se encuentran en los sarcómeros.

sos más largos, también llamados *filamentos de miosina*, están compuestos principalmente de moléculas compactadas de la proteína **miosina,** pero también contienen encimas de ATP, que dividen el ATP para generar la potencia necesaria para la contracción muscular. Ten en cuenta que los filamentos gruesos amplían la longitud total de la banda oscura A. Asimismo, fíjate en que las partes centrales de los filamentos son lisas, pero sus extremos tienen incrustados unos pequeños salientes (Figura 6.3d). Estos salientes, o *cabezas* de miosina, se denominan **puentes cruzados** cuando unen los filamentos gruesos con los finos durante la contracción muscular. Los **filamentos finos** están compuestos de la proteína contráctil denominada **actina** además de algunas proteínas reguladoras que desempeñan un papel importante a la hora de permitir (o impedir) la unión de la cabeza de miosina con la actina.

Los filamentos finos, también denominados *filamentos de actina*, están sujetos al disco Z (una membrana con forma de disco). Ten en cuenta que la banda clara I incluye partes de los dos sarcómeros adyacentes y contiene *sólo* filamentos finos. Aunque se solapan con los extremos de los filamentos gruesos, los filamentos finos no se extienden por el medio de un sarcómero relajado, y por tanto, por la zona central (la zona H, que carece de filamentos de actina y tiene un aspecto un poco más claro) se denomina a veces *zona vacía.* Cuando se produce la contracción y los filamentos de actina se deslizan unos hacia los otros y hacia el centro de los sarcómeros, las zonas claras desaparecen porque los filamentos de actina y miosina se solapan completamente. Sin embargo, por ahora reconozcamos solamente que la colocación precisa de miofilamentos en las miofibrillas es la que produce el patrón de bandas, o las estriaciones, en las células de los músculos esqueléticos.

En la Figura 6.3 no se muestra otra organela de las fibras musculares muy importante: el **retículo sarcoplásmico (SR),** un retículo endoplásmico liso especializado. Los túbulos interconectados y los sacos del SR rodean a todas y cada una de las miofibrillas, de la misma forma que la manga holgada de un suéter de ganchillo rodea nuestro brazo. El papel principal de este complejo sistema es almacenar calcio y liberarlo en función de las necesidades cuando las fibras musculares se estimulan para contraerse. Como verás, el calcio proporciona la última señal "de salida" para la contracción.

¿LO HAS ENTENDIDO?

5. En concreto, ¿cuál es el responsable del patrón de bandas de las células de los músculos esqueléticos?

Véase la respuesta en el Apéndice D.

Actividad de los músculos esqueléticos

Estimulación y contracción de las células de los músculos esqueléticos

Las células musculares presentan algunas propiedades funcionales especiales que les permiten cumplir con sus tareas. La primera de éstas es la *excitabilidad*, también denominada *receptividad* o *irritabilidad*, que es la capacidad de recibir y responder a estímulos. La segunda, la *contractilidad*, es la capacidad de encogerse (por la fuerza) cuando se estimula a los músculos de forma adecuada. La *extensibilidad* es la capacidad de las células musculares de estirarse, mientras que la *elasticidad* es la capacidad de retraerse y recuperar su longitud original después de ser estiradas.

El estímulo nervioso y el potencial de acción

Para contraerse, las células de los músculos esqueléticos deben ser estimuladas por impulsos nerviosos. Una neurona motora (célula nerviosa) puede estimular unas pocas células musculares o cientos de ellas, en función del músculo del que se trate y del trabajo que realice. Una neurona y todas las células de los músculos esqueléticos que estimula constituyen una **unidad motora** (Figura 6.4). Cuando una extensión de la neurona larga, con forma de hilo, denominada *fibra nerviosa* o **axón,** alcanza el músculo, se ramifica en numerosas **terminales del axón,** cada una de las cuales forma uniones con el sarcolema de una célula muscular diferente (Figura 6.5). Estas uniones se denominan **uniones neuromusculares.** Aunque las terminaciones nerviosas y las membranas de las células musculares se encuentran muy cerca, nunca se tocan. El hueco existente entre ellas, el **espacio sináptico,** se rellena con fluido del tejido (intersticial).

¿LO HAS ENTENDIDO?

6. ¿Qué dos estructuras están estrechamente asociadas en una unión neuromuscular?

Véase la respuesta en el Apéndice D.

Una vez que hemos descrito la estructura de una unión neuromuscular, estamos preparados para examinar lo que ocurre en ellas. Cuando un impulso nervioso llega a las terminales del axón, se libera una sustancia química denominada **neurotransmisor.** El neurotransmisor específico que estimula las células de los músculos esqueléticos es la **acetilcolina** o **ACh.** La acetilcolina se difunde por el espacio sináptico y se adhiere a

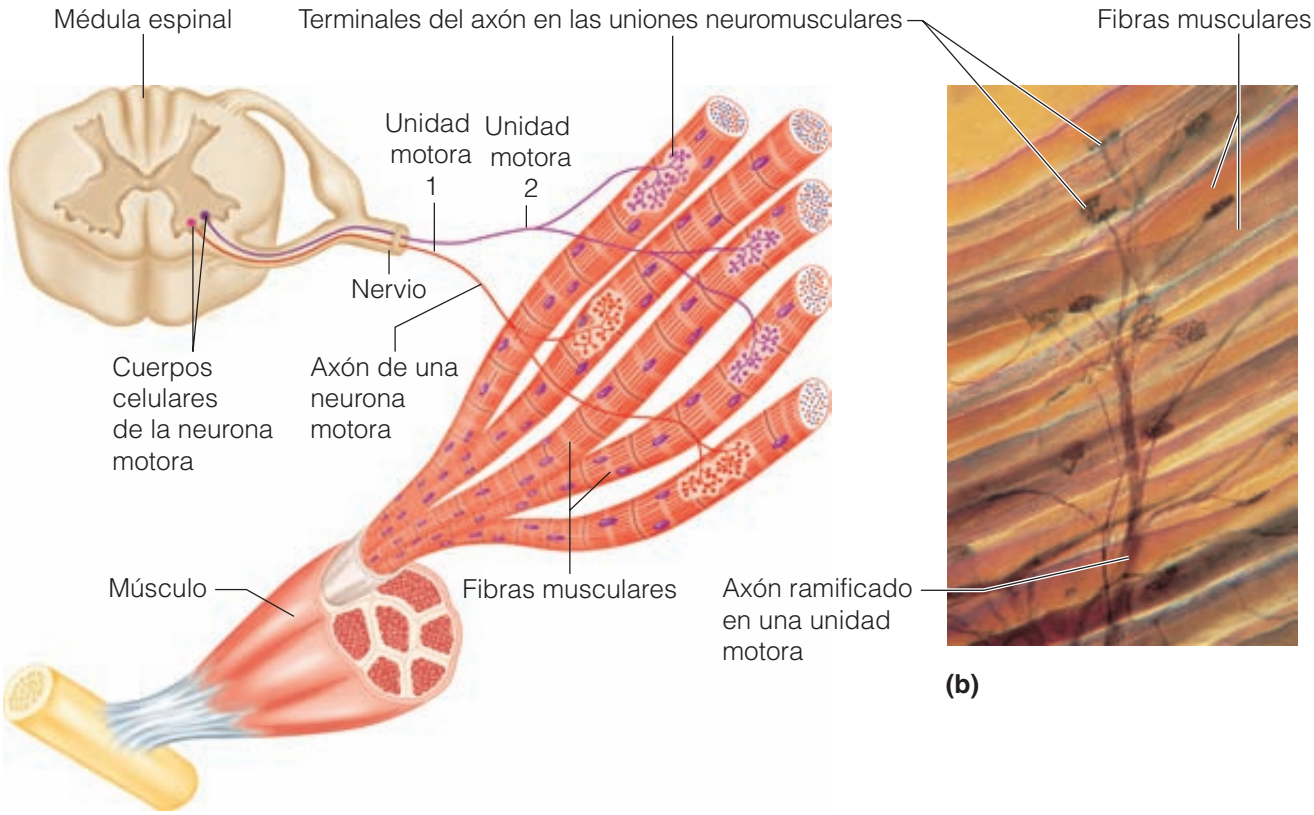


FIGURA 6.4 **Unidades motoras.** Cada unidad motora consta de una neurona motora y de todas las fibras musculares que ésta activa.
(a) Se muestran partes de dos unidades motoras. Las neuronas motoras están localizadas en la médula espinal y sus axones se extienden hasta el músculo. Dentro del músculo cada axón se divide en un número de terminales que se distribuyen hasta las fibras musculares dispersadas por el músculo.
(b) Foto de una sección de una unidad motora (80x).

los receptores (proteínas de la membrana) que forman parte del sarcolema. Si se libera suficiente acetilcolina, el sarcolema se vuelve *temporalmente* más permeable a los iones de sodio (Na^+) que se introducen en las células musculares y a los iones de potasio (K^+) que se difunden fuera de la célula. Sin embargo, entra más Na^+ que K^+ sale. Esto hace que el interior de la célula tenga un exceso de iones positivos, lo que revierte el signo eléctrico del sarcolema y abre más canales que permiten sólo la entrada de Na^+. Este "revés" genera una corriente eléctrica denominada **potencial de acción.** Una vez que comienza, el potencial de acción resulta imparable; se desplaza por toda la superficie del sarcolema y conduce el impulso eléctrico de un extremo de la célula a otro. El resultado es la contracción de la célula muscular.

Deberíamos señalar que, mientras el potencial de acción está activo, la acetilcolina, que inició el proceso, se descompone en ácido acético y colina por la acción de las encimas (acetilcolinesterasa o AChE) presentes en el sarcolema (véase la Figura 6.5c). Por este motivo, un único impulso nervioso produce una sola contracción. Esto impide una contracción continuada de la célula muscular a falta de impulsos nerviosos adicionales. La célula muscular se relaja hasta que se ve estimulada por la siguiente liberación de acetilcolina.

Este conjunto de acontecimientos se explica de forma más detallada en las págs. 237-239, donde tratar

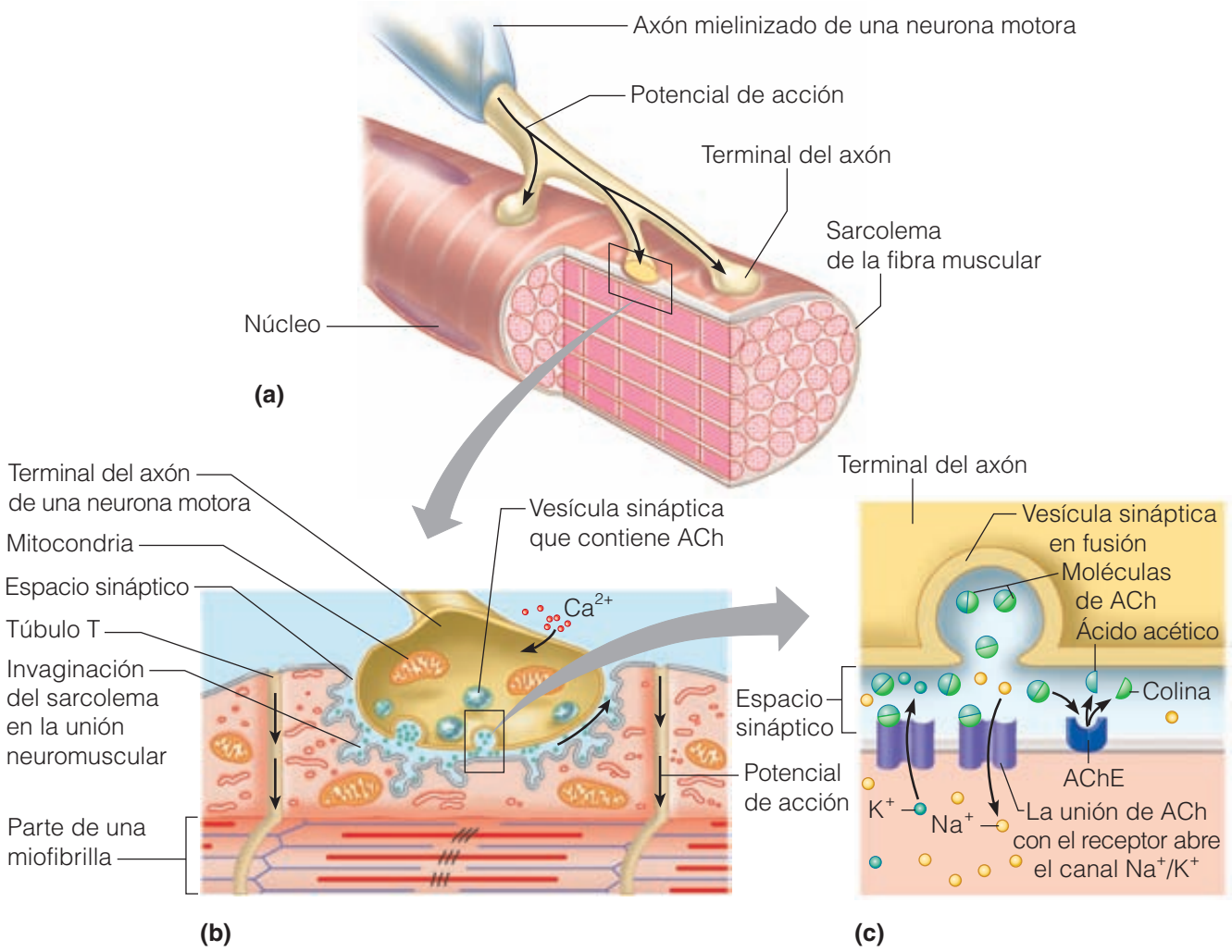


FIGURA 6.5 **La unión neuromuscular. (a)** Terminal del axón de una neurona motor que forma una unión neuromuscular con una fibra muscular. **(b)** El terminal del axón contiene vesículas llenas del neurotransmisor acetilcolina (ACh), que se libera cuando el impulso nervioso alcanza el terminal del axón. El sarcolema se encuentra altamente invaginado (doblado) de forma adyacente al espacio sináptico y los receptores de acetilcolina se encuentran presentes en estos pliegues. **(c)** La acetilcolina se difunde por todo el espacio sináptico y se adhiere a los receptores de ACh en el sarcolema, lo que inicia los cambios en el signo eléctrico del sarcolema.

la fisiología de los nervios. No obstante, quizás resulte útil compararlo con un acontecimiento común como encender una cerilla debajo de una ramita seca (Figura 6.6). La carbonización de la ramita causada por la llama se puede comparar con el cambio de la permeabilidad de la membrana que permite que los iones de sodio accedan a la célula. Cuando esa parte de la ramita se calienta lo suficiente (cuando han entrado suficientes iones de sodio en la célula), de repente sale una llama de la ramita de repente y consume la ramita (el potencial de acción será conducido a lo largo de toda la superficie del sarcolema).

Entre los acontecimientos que devuelven a la célula a su estado de reposo se encuentran: (1) la difusión de iones de potasio (K^+) fuera de la célula y (2) el funcionamiento de la bomba de sodio-potasio, el mecanismo de transporte activo que devuelve los iones de sodio y potasio a sus posiciones iniciales.

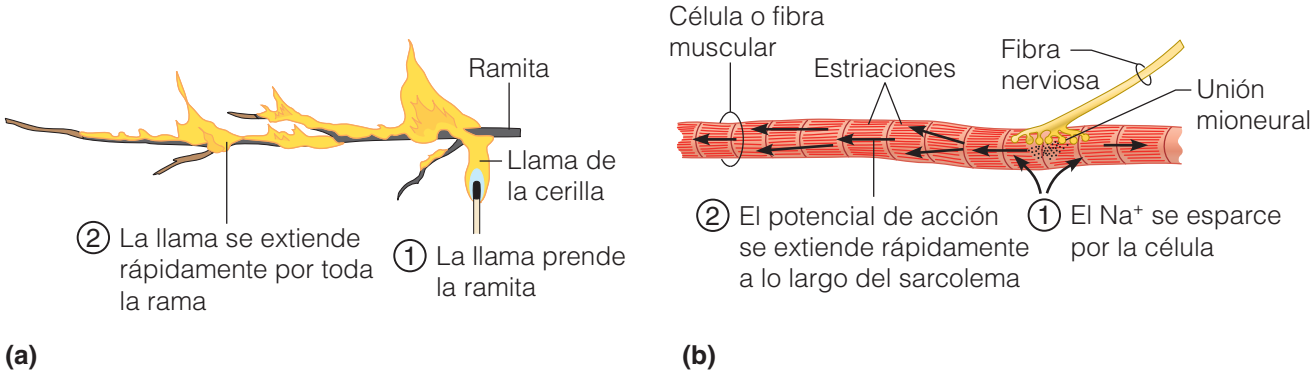


FIGURA 6.6 Comparación del potencial de acción con una llama que consume una ramita seca. (a) Lo primero que hacemos para prender una ramita seca es sujetar la llama de la cerilla en una zona de la ramita. En segundo lugar, la ramita se prende una vez que se ha calentado lo suficiente y la llama se extiende por toda la rama. **(b)** Lo primero que ocurre al excitar una célula muscular es la rápida difusión de iones de sodio (Na^+) por la célula cuando la permeabilidad del sarcolema cambia. Lo segundo que ocurre es la expansión del potencial de acción a lo largo del sarcolema cuando se ha introducido el número de iones de sodio necesario para modificar el signo eléctrico de la célula.

Mecanismo de contracción muscular: la teoría del filamento deslizante

¿Qué provoca el deslizamiento de los filamentos? Esta pregunta nos devuelve a las cabezas de miosina que sobresalen de todos los extremos de los filamentos gruesos. Cuando el sistema nervioso activa las fibras musculares como acabamos de describir, las cabezas de miosina se adhieren a las partes de unión de los filamentos finos y comienza el deslizamiento. Cada puente cruzado se adhiere y se separa varias veces durante una contracción, lo que genera una tensión que ayuda a tirar de los filamentos delgados hacia el centro del sarcómero. Como esto ocurre de forma simultánea en sarcómeros de toda la célula muscular, la célula se acorta (Figura 6.7).

Este "paseo" de los puentes o cabezas cruzados de miosina a lo largo de los filamentos finos durante el acortamiento muscular es muy parecido a la forma de andar de un ciempiés. Algunas cabezas de miosina ("pa-

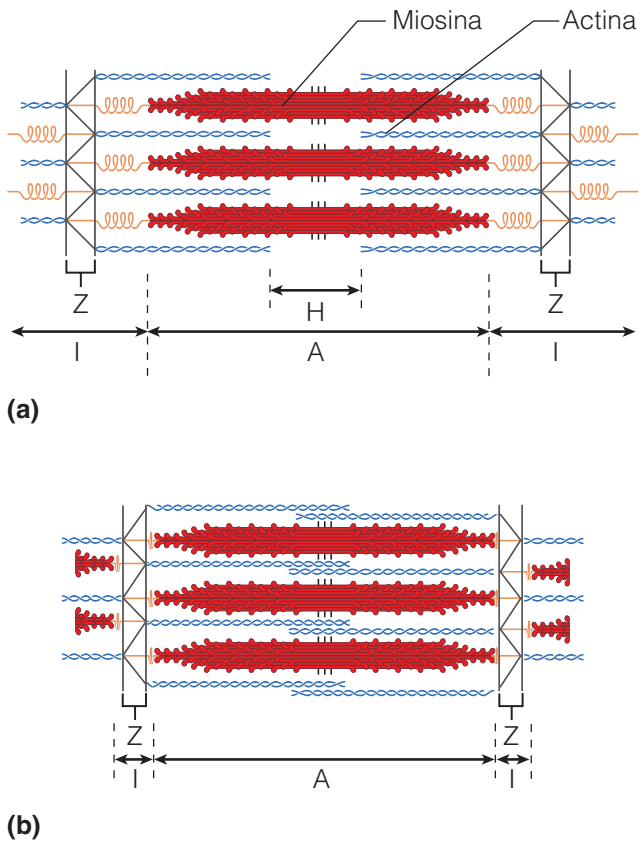
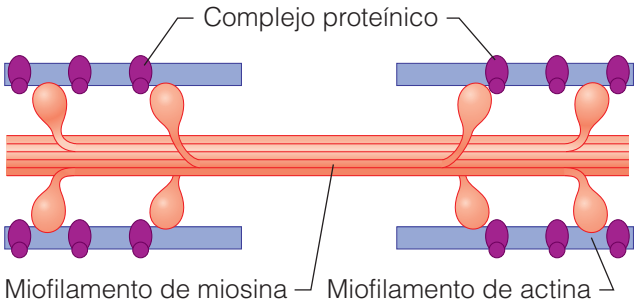
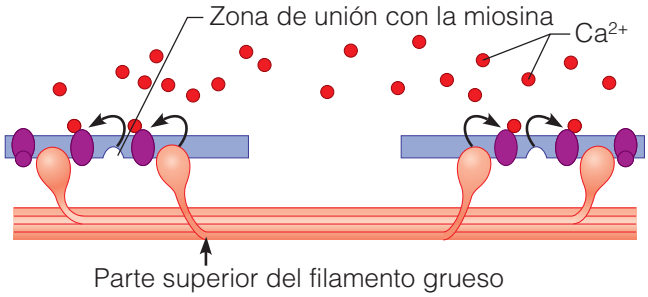


FIGURA 6.7 Vistas en forma de diagrama de un sarcómero. (a) Relajado; **(b)** totalmente contraído. Ten en cuenta que en el sarcómero contraído la zona H clara del centro de la banda A ha desaparecido, los discos Z están más cerca de los filamentos gruesos y las bandas I casi han desaparecido. Las bandas A se mueven más cerca, pero no cambian su longitud.



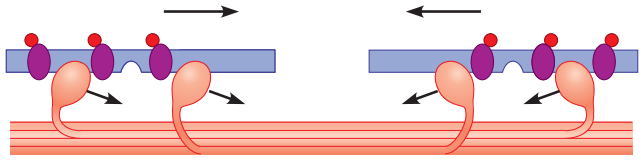
(a)

En la célula muscular relajada las proteínas reguladoras que forman parte de los miofilamentos de actina impiden la unión con la miosina (véase **a**). Cuando un potencial de acción se extiende por su sarcolema y se excita una célula muscular, se liberan los iones de calcio (Ca^{2+}) de las zonas de almacenamiento intracelular (los sacos del retículo sarcoplásmico).



(b)

El flujo de calcio actúa como el desencadenante final de la contracción, dado que el calcio se une a las proteínas reguladoras en los filamentos de actina y cambian tanto la forma como la posición en los filamentos finos. Esta acción expone las zonas de unión en la actina, a la que se pueden adherir las cabezas de miosina (véase **b**), y las cabezas de miosina comienzan a buscar zonas de unión de forma inmediata .



(c)

(a) Las cabezas de miosina libres están "montadas" como una trampa para ratones. La adhesión física de la miosina a la actina "hace saltar la trampa", lo que provoca que las cabezas de miosina pivoten hacia el centro del sarcómero. Debido a que la actina y la miosina se encuentran todavía unidas con firmeza entre sí cuando esto ocurre, los filamentos finos se ven ligeramente desplazados hacia el centro del sarcómero (véase **c**). El ATP proporciona la energía necesaria para liberar y recolocar cada cabeza de miosina, de forma que se encuentren preparadas para dar otro "paso" y adherirse a una zona de unión más allá del filamento fino. Cuando el potencial de acción finaliza y los iones de calcio se reabsorben en las zonas de almacenamiento SR, las proteínas reguladoras vuelven a su forma y posición originales y de nuevo obstaculizan la unión de la miosina con los filamentos finos. Dado que ahora la miosina no tiene nada a lo que adherirse, la célula muscular se relaja y vuelve a su longitud original.

FIGURA 6.8 Representación esquemática del mecanismo de contracción: la teoría del filamento deslizante.

tas") siempre están en contacto con la actina ("el suelo"), de forma que los filamentos finos no se pueden deslizar hacia atrás mientras este ciclo se repite una y otra vez durante la contracción. Ten presente que los miofilamentos no se acortan durante la contracción, simplemente se deslizan fácilmente entre sí.

La adhesión de los puentes cruzados de miosina a la actina precisa iones de calcio (Ca^{2+}). Pero ¿de dónde viene el calcio? Como se indica en la Figura 6.5b, los potenciales de acción (flechas negras) se adentran con profundidad en la célula del músculo a lo largo de túbulos membranosos (túbulos T) que se pliegan hacia dentro desde el sarcolema. Dentro de la célula, los potenciales de acción estimulan el retículo sarcoplásmico para liberar iones de calcio al citoplasma. Los iones de calcio provocan la unión de la miosina a la actina, dando inicio al deslizamiento de los filamentos. Este proceso de deslizamiento y el papel preciso del calcio se muestran en la Figura 6.8. Una vez que el potencial de acción finaliza, los iones de calcio se reabsorben de forma inmediata en las zonas de almacenamiento del RS, y la célula muscular se relaja y vuelve a su longitud original. Toda esta serie de acontecimientos se produce en apenas unas milésimas de segundo.

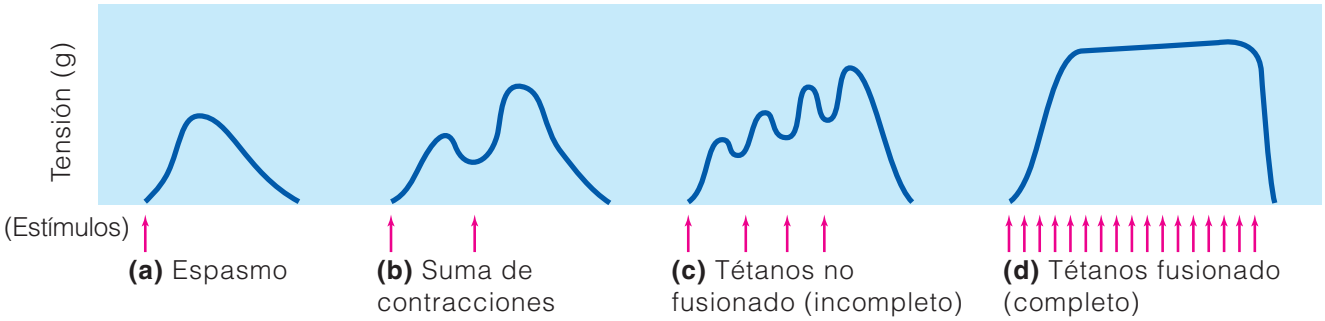


FIGURA 6.9 Respuesta de todo el músculo a los diferentes niveles de estimulación. En **(a)** se libera un único estímulo y el músculo se contrae y se relaja (una contracción espasmódica). En **(b)** los estímulos se producen con mayor frecuencia, de forma que el músculo no tiene tiempo de relajarse completamente; la fuerza de contracción aumenta debido a que se suman los efectos de los espasmos individuales. En **(c)** se da una fusión de los espasmos (tétanos no fusionado) a medida que los estímulos se producen con una frecuencia aún más rápida. En **(d),** tétanos fusionado, una contracción prolongada y continua sin muestras de relajación resulta de una frecuencia de estimulación muy rápida. (Las flechas rojas indican los puntos en los que los estímulos se producen. La tensión [medida en gramos] en el eje vertical hace referencia a la fuerza relativa de la contracción muscular.)

¿LO HAS ENTENDIDO?

7. ¿Qué sustancia química (ATP o Ca^{2+}) provoca el deslizamiento de los filamentos musculares?
8. ¿Qué iones se introducen en la célula muscular durante la generación del potencial de acción?
9. ¿A qué se parece más una unión de puente cruzado: a un equipo sincronizado de remo o a una persona que saca un cubo de un pozo tirando de una cuerda?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Contracción de un músculo esquelético en su conjunto

Respuestas graduadas

En los músculos esqueléticos, la ley del "todo o nada" de la fisiología muscular se aplica a la *célula muscular*, no a todo el músculo. Dicha ley afirma que una célula muscular se contraerá al máximo cuando se estimule de forma adecuada, nunca de forma parcial. Sin embargo, todo el músculo reacciona a los estímulos con **respuestas graduadas** o con diferentes grados de acortamiento. En general, las contracciones musculares graduadas se pueden producir de dos formas: (1) mediante la modificación de la *frecuencia* de estimulación muscular y (2) mediante la modificación del *número* de células musculares que se estimulan a la vez. A continuación describimos la respuesta muscular a los dos supuestos.

Respuesta del músculo a una estimulación cada vez más rápida Aunque los **espasmos musculares** (contracciones aisladas y breves) aveces son el resultado de determinados problemas del sistema nervioso, ésta *no* es la forma en que suelen funcionar nuestros músculos. En la mayor parte de la actividad muscular, se envían los impulsos nerviosos hacia el músculo con una frecuencia muy rápida; tan rápida que el músculo no tiene oportunidad de relajarse totalmente entre estímulos. Por tanto, los efectos de las contracciones sucesivas se suman y las contracciones del músculo se vuelven más fuertes y prolongadas. Cuando el músculo se estimula tan rápidamente que no se perciben muestras de relajación, y las contracciones son totalmente sostenidas y prolongadas, se dice que el músculo está en **tétanos completo** o **fusionado,** o en

*La contracción tetánica resulta normal y deseable, a diferencia de la enfermedad patológica del tétanos, provocada por una toxina producida por bacterias. El tétanos hace que los músculos padezcan espasmos incontrolables y acaba provocando un colapso respiratorio.

contracción tetánica*. Hasta que esto ocurre, se dice que el músculo exhibe un tétanos incompleto, no fusionado (Figura 6.9).

Respuesta muscular a estímulos más fuertes Aunque el tétanos también produce contracciones musculares más fuertes, su papel principal consiste en producir contracciones musculares prolongadas y continuadas. La intensidad con la que se contrae un músculo depende en gran medida del número de células que se estimulen. Si sólo se estimulan unas pocas, la contracción de todo el músculo será ligera. En las contracciones más fuertes, cuando todas las unidades motoras están activas, y todas las células musculares están sometidas a estimulación, la contracción muscular es lo más fuerte posible. Por tanto, las contracciones musculares pueden ser ligeras o potentes, en función del trabajo que se tenga que realizar. La misma mano que puede dar caricias tranquilizadoras también puede pegar una bofetada.

Provisión de energía para la contracción muscular

Cuando un músculo se contrae, las uniones de moléculas de ATP se hidrolizan para liberar la cantidad de energía necesaria.

Sorprendentemente, los músculos almacenan unas cantidades muy limitadas de ATP (sólo para 4 ó 6 segundos, lo suficiente para mantenernos en movimiento). Dado que el ATP es la única fuente de energía que se puede utilizar directamente para alimentar la actividad muscular, se debe regenerar constantemente si la contracción debe continuar.

Los músculos cuentan con tres formas distintas de regenerar ATP:

1. **Fosforilación directa de ADP mediante fosfato de creatina** (Figura 6.10a). El **fosfato de creatina (CP),** una molécula única rica en energía, se encuentra en las fibras musculares, pero no en otros tipos de células. Mientras se procede a la reducción de ATP, las interacciones entre CP y ADP dan como resultado transferencias de un grupo de fosfatos rico en energía de CP a ADP, lo que regenera más ATP en una fracción de segundo. Aunque las células musculares almacenan cinco veces más CP que ATP, el suministro de CP se consume también rápidamente (en menos de 15 segundos).
2. **Respiración aeróbica** (Figura 6.10b). En estado de reposo y mientras se practica ejercicio de leve a moderado, cerca de un 95% del ATP que se utiliza para la actividad muscular proviene de la respiración aeróbica. La **respiración aeróbica** se produce en la mitocondria e implica una serie de vías metabólicas que utilizan oxígeno. Estas vías reciben el nombre colectivo de *fosforilación oxidativa*. Durante la respiración aeróbica la glucosa se descompone totalmente en dióxido de carbono y agua, y parte de la energía liberada como enlaces se descompone y se captura en los enlaces de moléculas de ATP. Aunque la respiración aeróbica proporciona un buen suministro de ATP (36 moléculas de ATP frente a una de glucosa), resulta bastante lenta y requiere un suministro continuado de oxígeno y nutrientes al músculo para que éste continúe funcionando.
3. **Glucólisis anaeróbica y formación de ácido láctico** (Figura 6.10c). Los primeros pasos de la descomposición de la glucosa se producen mediante un proceso denominado *glucólisis*, que no utiliza el oxígeno y por tanto es una parte *anaeróbica* (literalmente "sin oxígeno") de la vía metabólica. Durante la glucólisis, que tiene lugar en el citosol, la glucosa se descompone en ácido pirúvico y se capturan pequeñas cantidades de energía en los enlaces de ATP (dos moléculas de ATP por una de glucosa). Mientras haya suficiente cantidad de oxígeno, el ácido pirúvico se introduce en las vías aeróbicas que requieren oxígeno y que tienen lugar en la mitocondria, para producir más ATP, como hemos descrito con anterioridad. Sin embargo, cuando la actividad muscular es intensa, o el suministro de oxígeno y glucosa no resulta suficiente temporalmente para cubrir las necesidades de los músculos, los lentos mecanismos aeróbicos no pueden cubrir la demanda de ATP.

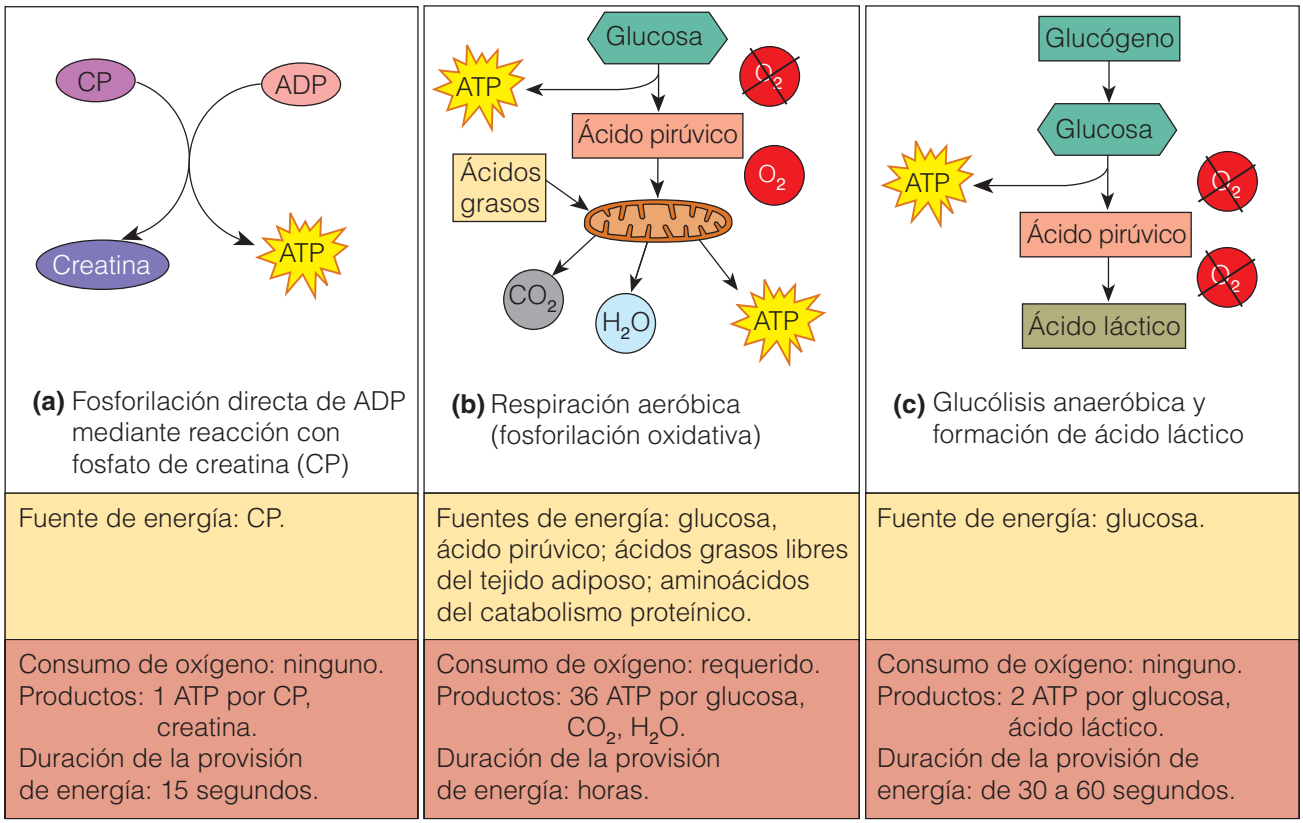
   En estas condiciones, el ácido pirúvico generado durante la glucólisis se convierte en **ácido láctico,** y todo el proceso recibe el nombre de **glucólisis anaeróbica.**

   La glucólisis anaeróbica produce sólo un 5% de ATP de cada molécula de glucosa, frente al 95% producido como respiración aeróbica. Sin embargo, resulta cerca de dos veces y media más rápida y puede proporcionar la mayor parte del ATP necesario para entre 30 y 60 segundos de frenética actividad muscular. Entre los principales defectos de la glucólisis anaeróbica podemos destacar el hecho de que utiliza grandes cantidades de glucosa para una pequeña reserva de ATP y que en teoría, la acumulación de ácido láctico provoca la fatiga y el dolor muscular.

Fatiga muscular y déficit de oxígeno

Si ejercitamos nuestros músculos de forma enérgica durante un tiempo largo, se produce la **fatiga muscular.**

P *¿Cuál de estos mecanismos de generación de ATP utilizan los músculos de las piernas de los ciclistas de larga distancia?*



(a) Fosforilación directa de ADP mediante reacción con fosfato de creatina (CP)	**(b)** Respiración aeróbica (fosforilación oxidativa)	**(c)** Glucólisis anaeróbica y formación de ácido láctico
Fuente de energía: CP.	Fuentes de energía: glucosa, ácido pirúvico; ácidos grasos libres del tejido adiposo; aminoácidos del catabolismo proteínico.	Fuente de energía: glucosa.
Consumo de oxígeno: ninguno. Productos: 1 ATP por CP, creatina. Duración de la provisión de energía: 15 segundos.	Consumo de oxígeno: requerido. Productos: 36 ATP por glucosa, CO_2, H_2O. Duración de la provisión de energía: horas.	Consumo de oxígeno: ninguno. Productos: 2 ATP por glucosa, ácido láctico. Duración de la provisión de energía: de 30 a 60 segundos.

FIGURA 6.10 Métodos de generación de ATP durante la actividad muscular. El mecanismo más rápido es **(a)** la fosforilación; el más lento es **(b)** la respiración aeróbica.

Un músculo se fatiga cuando no puede contraerse aunque se le estimule. Sin descanso, un músculo en plena actividad comienza a cansarse y se contrae de forma más leve, hasta que finalmente deja de reaccionar y ya no se contrae más. Se cree que la fatiga muscular es el resultado del **déficit de oxígeno** que se produce durante una actividad muscular prolongada: una persona no es capaz de tomar oxígeno lo suficientemente rápido para mantener el suministro de oxígeno necesario para los músculos cuándo éstos trabajan de forma enérgica. Obviamente, el trabajo que puede realizar un músculo y el tiempo que puede trabajar sin cansarse depende de lo bueno que sea nuestro riego sanguíneo. Cuando a los músculos les falta oxígeno, comienza a acumularse ácido láctico en los músculos mediante el mecanismo anaeróbico descrito anteriormente. Además, el suministro de ATP para el músculo comienza a ralentizarse y se produce un desequilibrio iónico. Todos estos factores hacen que el músculo se contraiga de una forma cada vez menos eficaz y finalmente deje de hacerlo.

Rara vez sufrimos una fatiga muscular verdadera, aquella en la que el músculo deja de funcionar por completo, pues solemos sentirnos cansados mucho antes de que esto ocurra, y entonces reducimos el ritmo o detenemos nuestra actividad. Esto suele *pasarles* a los corredores de maratón. Muchos de ellos se colapsan literalmente cuando sus músculos se fatigan y no pueden trabajar más.

El déficit de oxígeno, que siempre se produce durante una actividad muscular exigente, debe "reponerse" se fatiguen los músculos o no. Durante el pe-

R *El mecanismo aeróbico (b).*

riodo de recuperación tras la actividad, el individuo respira con fuerza y rapidez. Esto continuará así hasta que los músculos hayan recibido la cantidad de oxígeno necesario para librarse del ácido láctico acumulado y hayan creado reservas de ATP y fosfato de creatina.

Tipos de contracciones musculares: isotónicas e isométricas

Hasta ahora hemos estado hablando de la contracción en términos del comportamiento del acortamiento, pero los músculos no siempre se acortan cuando se contraen. (Puedo oírte decir: "¿Qué significa esto?"; presta atención). Lo que ocurre de forma común en todas las contracciones musculares es que la *tensión* se desarrolla en el músculo cuando los filamentos de actina y miosina interactúan y los puentes cruzados de miosina intentan hacer deslizar a los filamentos finos que contienen actina más allá de los miofilamentos gruesos de miosina.

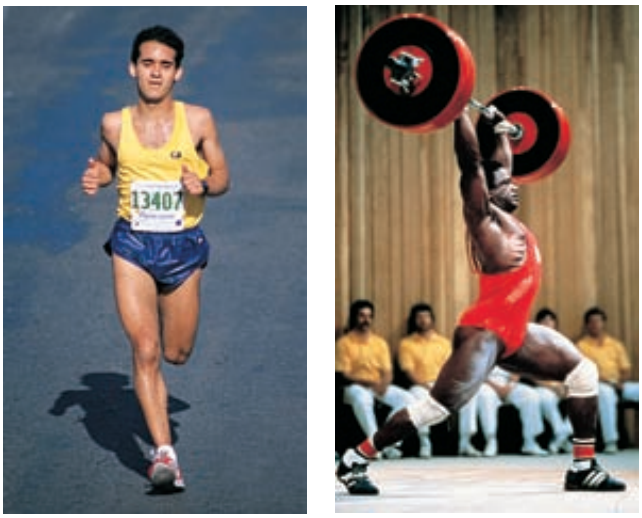
Las **contracciones isotónicas** (literalmente "mismo tono" o tensión) nos resultan familiares a la mayoría de nosotros. En las contracciones isotónicas los miofilamentos realizan sus movimientos de deslizamiento de forma satisfactoria, el músculo se acorta, y se produce el movimiento. Doblar las rodillas, girar los brazos y sonreír son todos ejemplos de contracciones isotónicas.

Las contracciones en las que los músculos no se acortan se denominan **contracciones isométricas** (literalmente "misma medida" o longitud). En las contracciones isométricas los miofilamentos de miosina "hacen girar sus ruedas" y la tensión en el músculo continúa aumentando. Intentan deslizarse, pero el músculo se opone a algunos objetos más o menos inmóviles.

Por ejemplo, los músculos se contraen de forma isométrica cuando tratamos de levantar un mueble de 181 kilos. Cuando estiras un codo doblado, el tríceps se contrae de forma isotónica. Pero cuando hacemos fuerza contra una pared con los codos doblados, la pared no se mueve y los tríceps, que no se pueden acortar para estirar los codos, se contraen de forma isométrica.

El tono muscular

Existe un aspecto de la actividad muscular esquelética que no se puede controlar de forma consciente. Incluso cuando un músculo se relaja de forma involuntaria, algunas de sus fibras se contraen (primero un grupo y después otro). Su contracción no es visible, pero, como resultado de ello, el músculo permanece firme, saludable, y preparado permanentemente para la acción. Este estado de contracciones parciales continuas se denomina **tono muscular.** El tono muscular es el resultado de unidades motoras diferentes que están dispersas por el músculo, estimuladas por el sistema nervioso de una forma sistemática.



(a) (b)

FIGURA 6.11 Efectos de un entrenamiento aeróbico frente a uno de fuerza. (a) Un corredor de maratón. **(b)** Un levantador de pesas.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si el aporte nervioso del músculo se ve destruido (como en un accidente) el músculo ya no se estimula más de esa forma, pierde el tono y se paraliza. Poco después se vuelve **flácido** o blando y fofo, y comienza a **atrofiarse.**▲

El efecto del ejercicio en los músculos

La cantidad de trabajo que realiza un músculo se refleja en forma de cambios en el propio músculo. La inactividad muscular (debida a una pérdida del aporte nervioso, inmovilización, o cualquier otra causa) siempre conduce a la debilidad muscular y al desperdicio del músculo. Los músculos no escapan a la máxima: "o lo usas o lo pierdes".

Por el contrario, el ejercicio regular aumenta el tamaño, la fuerza y la resistencia del músculo. No obstante, no todos los tipos de ejercicio producen estos efectos; de hecho, existen importantes diferencias en los beneficios del ejercicio.

Los tipos de ejercicio **aeróbicos** o de **resistencia,** como los de una clase de aeróbic, el *footing* o montar en bicicleta (Figura 6.11a) dan como resultado músculos más flexibles y más fuertes con una mayor resistencia a

TABLA 6.2 Las cinco reglas de oro de la actividad de los músculos esqueléticos

1.	A excepción de unos pocos casos, todos los músculos esqueléticos cruzan al menos una articulación.
2.	Normalmente, la mayor parte de la masa del músculo se encuentra próxima a la articulación que atraviesa.
3.	Todos los músculos esqueléticos tienen al menos dos puntos de anclaje: el origen y la inserción.
4.	Los músculos esqueléticos sólo pueden tirar, nunca empujar.
5.	Durante la contracción, la inserción de los músculos esqueléticos se mueve hacia el origen.

la fatiga. Estos cambios se deben, al menos parcialmente, a que el suministro de sangre al músculo aumenta y las células musculares forman más mitocondrias y almacenan más oxígeno.

Sin embargo, el ejercicio aeróbico tiene otros muchos beneficios: hace que el metabolismo de todo el cuerpo se vuelva más eficiente, mejora la digestión (y la eliminación), mejora la coordinación neuromuscular y fortalece el esqueleto. El tamaño del corazón aumenta (se *hipertrofia*), de forma que se bombea más sangre con cada latido, los depósitos de grasa se limpian de las paredes de los vasos sanguíneos, y los pulmones se vuelven más eficientes en el intercambio de gases. Estos beneficios pueden ser permanentes o temporales, en función de la regularidad y de la intensidad de los ejercicios.

El ejercicio aeróbico *no* hace que el tamaño de los músculos aumente demasiado, aunque el ejercicio se realice durante horas. Los sobresalientes músculos de los culturistas o levantadores de pesas profesionales son el resultado principalmente de **ejercicios de resistencia** o **isométricos** (Figura 6.11b), en los cuales los músculos se oponen a algunos objetos inmóviles (o casi inmóviles). Los ejercicios de resistencia requieren muy poco tiempo y muy poco o ningún equipamiento. Unos cuantos minutos de vez en cuando bastan normalmente. Se puede empujar una pared y las nalgas se pueden contraer con fuerza incluso cuando hacemos cola en el supermercado. La clave reside en forzar los músculos para contraerlos con la mayor fuerza posible. El aumento en el tamaño y la fuerza muscular que resulta se debe principalmente a la ampliación de las células musculares (crean filamentos más contráctiles) más que a un incremento en el número de ellos. Asimismo, también aumenta la cantidad de tejido conectivo que refuerza los músculos.

Dado que los ejercicios de resistencia producen diferentes patrones de respuesta muscular, resulta importante conocer cuáles son los objetivos que queremos alcanzar.

Levantar pesas no hará aumentar tu resistencia para una maratón. Del mismo modo, hacer *footing* no te ayudará a definir tu musculatura para competir en un concurso de culturismo, ni te hará fuerte como para levantar muebles. Obviamente, el mejor programa de ejercicio para la mayoría de la gente es el que incluye los dos tipos de ejercicio.

¿LO HAS ENTENDIDO?

10. ¿Cuáles son las tres fuentes de energía de la contracción de los músculos esqueléticos?
11. ¿Cuál es la fuente de energía inmediata para la contracción muscular?
12. Gabriel intenta con todas sus fuerzas levantar un tocón de árbol del suelo, pero no lo mueve. ¿De qué tipo de contracción muscular estamos hablando?
13. ¿Qué se entiende por *déficit de oxígeno*?
14. Para desarrollar unos músculos esqueléticos grandes y vistosos, ¿nos deberíamos centrar en los ejercicios aeróbicos o en los de resistencia?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Movimientos musculares, tipos y nombres

Esta sección es en cierto modo un refrito. Incluye algunos temas que realmente no van juntos, pero que no encajan en ningún otro lugar.

Por ejemplo, existen cinco principios muy básicos que resulta fundamental conocer sobre la actividad muscular general. Los llamaremos *Las cinco reglas de oro* de la actividad de los músculos esqueléticos, porque hasta que se asimilan resulta casi imposible comprender los movimientos musculares ni apreciar las interacciones musculares. Estas reglas de oro están resumidas en la Tabla 6.2.

Tipos de movimientos corporales

Cada uno de nuestros 600 y pico músculos esqueléticos se adhiere a un hueso o a otras estructuras de tejido conectivo en al menos dos puntos. Uno de estos puntos,

el **origen,** se adhiere al hueso inmóvil o menos móvil (Figura 6.12). La **inserción** se adhiere al hueso móvil, y cuando el músculo se contrae, la inserción se mueve hacia el origen. Algunos músculos presentan orígenes e inserciones intercambiables. Por ejemplo, el músculo recto del fémur del muslo anterior cruza las articulaciones de la cadera y la rodilla. Su movimiento más común consiste en extender la rodilla, en cuyo caso el anclaje pélvico próximo es el origen. Sin embargo, cuando la rodilla está flexionada (por otros músculos), el recto del fémur puede flexionar la cadera y entonces su anclaje distal a la pierna se considera el origen.

En general, el movimiento corporal se produce cuando los músculos se contraen a través de las articulaciones. El tipo de movimiento depende de la movilidad de la articulación y de dónde esté colocado el músculo en relación con la articulación. El ejemplo más obvio de la acción de los músculos sobre los huesos lo constituyen los movimientos que se producen en las articulaciones de las extremidades. Sin embargo, los huesos que presentan una menor libertad de movimiento también se ponen en movimiento mediante la acción de los músculos, como los movimientos de las vértebras cuando giramos el torso hacia un lado.

Los tipos de movimientos corporales más comunes se describen a continuación y se muestran en la Figura 6.13. Prueba a realizar cada movimiento a medida que lees las descripciones:

- **Flexión.** La flexión es un movimiento, generalmente del plano sagital, que reduce el ángulo de la articulación y acerca dos huesos entre sí (Figuras 6.13a y b). La flexión es típica de las articulaciones bisagra (doblado del codo o la rodilla), pero también se encuentra en las articulaciones de rótula (por ejemplo, cuando doblamos hacia delante la cadera).
- **Extensión.** La extensión es lo contrario de la flexión, por tanto, es un movimiento que aumenta el ángulo o la distancia entre dos huesos o partes del cuerpo (estirar la rodilla o el codo). Si la extensión es superior a 180° (como cuando inclinas la cabeza o el torso hacia atrás de forma que tu barbilla apunte hacia el techo), se trata de una hiperextensión (Figuras 6.13a y b).
- **Rotación.** La rotación es el movimiento de un hueso alrededor de su eje longitudinal (Figura 6.13c). La rotación es un movimiento típico de las articulaciones de rótula y describe el movimiento del atlas alrededor del proceso odontoides de la vértebra axis (como cuando decimos "no" con la cabeza).
- **Abducción.** La abducción consiste en mover una extremidad hacia fuera (generalmente en el plano frontal) desde la línea o el plano medio del cuerpo (Figura 6.13d). La terminología también hace referencia al movimiento de abanico de los dedos de las manos o de los pies cuando se mueven hacia fuera.

P *El otro movimiento que el bíceps del brazo puede realizar (y que se muestra en esta ilustración) es mover el torso hacia la barra cuando hacemos flexiones en barra fija. ¿Sería en este caso el antebrazo la inserción para ese movimiento?*

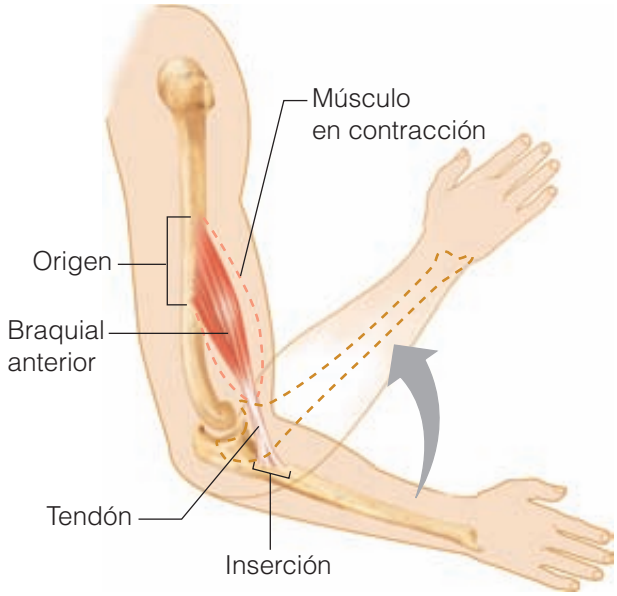


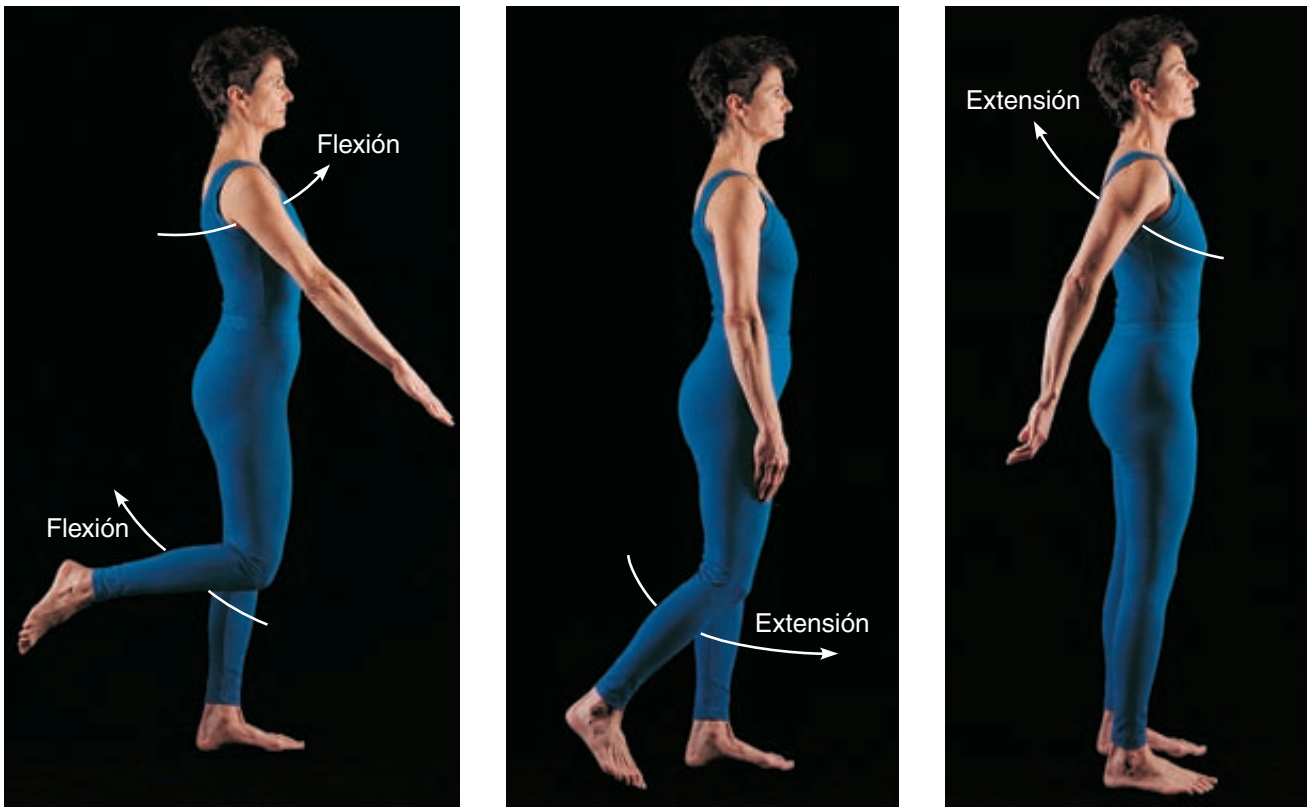
FIGURA 6.12 Anclajes de los músculos (origen e inserción). Cuando un músculo esquelético se contrae, la inserción se mueve hacia el origen.

- **Aducción.** Se trata del movimiento contrario a la abducción, por tanto, es el movimiento de una extremidad hacia la línea media del cuerpo (Figura 6.13d).
- **Circumducción.** La circumducción es una combinación de los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción típica en las articulaciones de rótula como los hombros. El extremo proximal de la extremidad es estacionario y el extremo distal se mueve en círculo. Toda la extremidad describe un cono (Figura 6.13d).

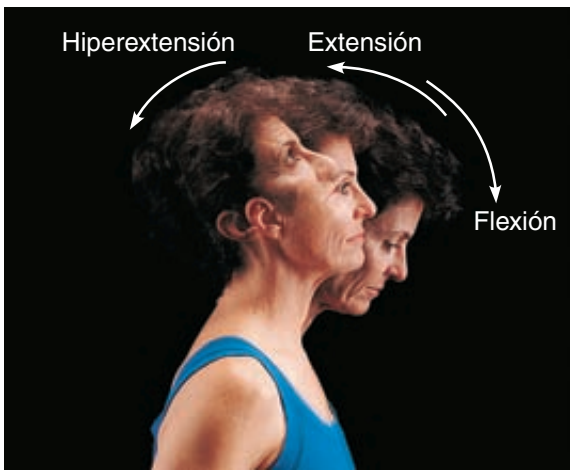
Movimientos especiales

Algunos movimientos no encajan en ninguna de las categorías anteriores y se producen sólo en unas pocas articulaciones.

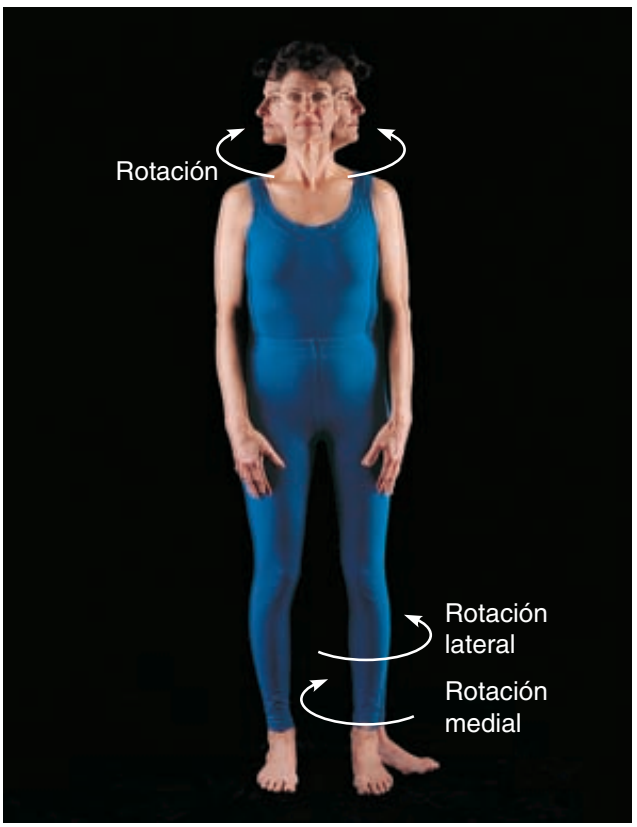
R *No. En este caso la inserción sería su anclaje al húmero, y el anclaje al antebrazo (que se mantiene firme durante este movimiento), es la inserción.*



(a) Flexión y extensión del hombro y la rodilla.



(b) Flexión, extensión e hiperextensión.

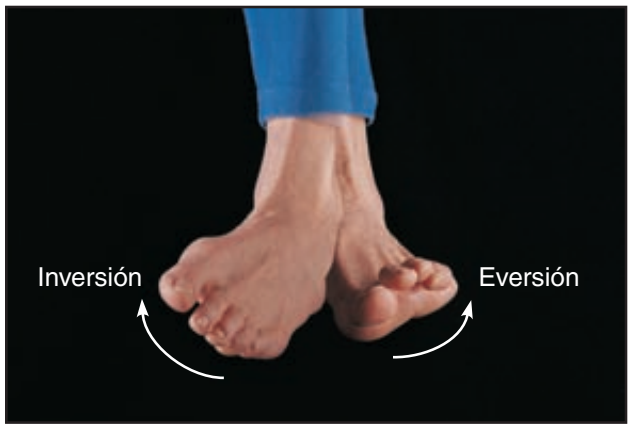


(c) Rotación.

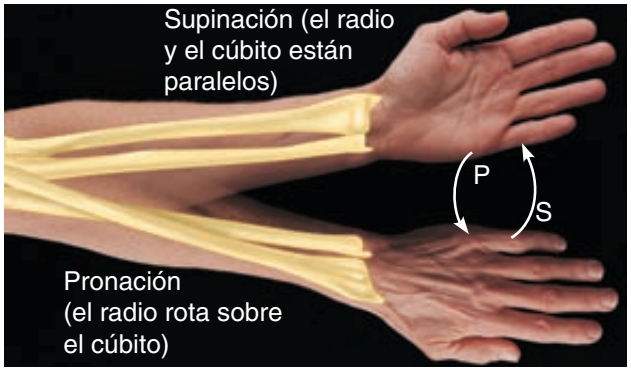
FIGURA 6.13 **Movimientos corporales.**

(d) Abducción, aducción y circumducción.

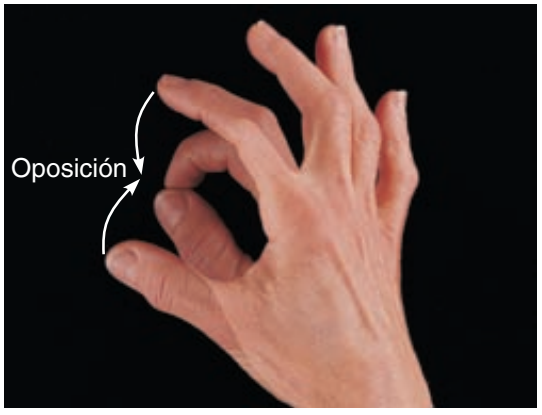
(e) Flexión dorsal y flexión plantar.



(f) Inversión y eversión.



(g) Supinación (S) y pronación (P).



(h) Oposición.

FIGURA 6.13 *(continuación)*

Algunos de estos movimientos especiales se muestran en la Figura 6.13.

- **Flexión dorsal y flexión plantar.** Los movimientos hacia arriba y hacia abajo del pie y el tobillo reciben nombres especiales. Levantar el pie para que la superficie superior se acerque a la espinilla (estando sobre los talones) se denomina flexión dorsal. Mientras que bajar el pie (con los dedos hacia abajo) se denomina flexión plantar (Figura 6.13e). La flexión dorsal del pie corresponde a la extensión de la mano hacia la muñeca, mientras que la flexión plantar del pie corresponde a la flexión de la mano.
- **Inversión y eversión.** La inversión y la eversión también son movimientos especiales del pie (Figura 6.13f). Para invertir el pie, gira la planta medialmente. Para evertir el pie, gira la planta de forma lateral.
- **Supinación y pronación.** Los términos *supinación* ("girar hacia atrás") y *pronación* ("girar hacia delante") hacen referencia a los movimientos del radio alrededor del cúbito (Figura 6.13g). La supinación se produce cuando el antebrazo rota de forma lateral hasta que la palma de la mano queda mirando hacia delante, y el radio y el cúbito quedan paralelos. La pronación se produce cuando el antebrazo rota de forma medial, de forma que la palma quede mirando hacia atrás. La pronación cruza el radio sobre el cúbito, de forma que los dos huesos forman una X. Una ayuda para acordarte: si levantas una taza de sopa hacia la boca sobre la palma de la mano, estás "supinando".
- **Oposición.** En la palma de la mano, la articulación en silla de montar entre el metacarpiano I y los carpianos permiten la oposición del dedo gordo (Figura 6.13h). Este es el movimiento que nos permite tocar con el dedo gordo las puntas de los otros dedos de la misma mano. Es él único movimiento que convierte a la mano humana en un útil instrumento para agarrar y manipular cosas.

Interacciones de los músculos esqueléticos en el organismo

Los músculos no pueden empujar (sólo pueden tirar, cuando se contraen), así que a menudo los movimientos corporales son el resultado de la actividad de dos o más músculos que actúan a la vez, o uno contra otro. Los músculos están dispuestos de tal forma que lo que hace un músculo (o grupo de músculos) puede ser revertido por otro. Por ello, los músculos son capaces de producir una gran cantidad de movimientos.

El músculo que tiene mayor responsabilidad para producir un determinado movimiento se denomina el **músculo principal.** (El término equivalente en inglés, *prime mover*, ha sido tomado por el mundo de los negocios para nombrar a los ejecutivos). Los músculos que se oponen, o revierten, un movimiento son **antagonistas.** Cuando un músculo principal se encuentra activo, su antagonista está estirado y relajado. Asimismo, los antagonistas pueden ser principales en su forma. Por ejemplo, el antagonista del bíceps del brazo (músculo principal de la flexión del codo) es el tríceps (músculo principal de la extensión del codo).

Los **músculos sinérgicos** (sin = juntos, erg = trabajo) ayudan a los músculos principales produciendo el mismo movimiento o reduciendo los movimientos no deseados. Cuando un músculo cruza una o más articulaciones, su contracción provoca un movimiento en todas las articulaciones que cruza, a menos que los músculos sinérgicos los estabilicen. Así, por ejemplo, los músculos flexores de los dedos cruzan tanto la muñeca como las articulaciones de los dedos. Puedes cerrar el puño sin doblar la muñeca porque los músculos sinérgicos estabilizan las muñecas y permiten que el músculo principal actúe en las articulaciones de los dedos.

Los **músculos estabilizadores** son músculos sinérgicos especializados. Mantienen fijo un hueso o estabilizan el origen de un músculo principal, de forma que se pueda utilizar toda la tensión para mover el hueso de la inserción. Los músculos posturales que estabilizan la columna vertebral son estabilizadores, así como los que sujetan las escápulas al tórax.

En resumen, a pesar de que los músculos principales parecen disfrutar de todo el crédito para provocar determinados movimientos, las acciones de los músculos antagonistas y sinérgicos son igualmente importantes a la hora de producir movimientos suaves, coordinados y precisos.

¿LO HAS ENTENDIDO?

15. ¿Qué movimiento realiza una persona que "hace dedo" en una carretera?
16. ¿Qué movimientos se producen en el cuello cuando movemos la cabeza de arriba abajo como queriendo decir "sí"?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Denominación de los músculos esqueléticos

Al igual que los huesos, los músculos presentan diversas formas y tamaños para cumplir con sus diversas funciones dentro del organismo. Los músculos reciben nombres en función de diversos criterios, cada uno de

MÁS DE CERCA

¿AFECTAN LOS ESTEROIDES ANABOLIZANTES POSITIVAMENTE EN EL RENDIMIENTO Y EL ASPECTO FÍSICO DE LOS ATLETAS?

Todo el mundo quiere a los ganadores, y los atletas de élite son famosos y ganan mucho dinero. No es de extrañar que algunos recurran a cualquier cosa para aumentar su rendimiento, incluso al "zumo" (esteroides anabolizantes). Estas hormonas, diseñadas por compañías farmacéuticas, vieron la luz en la década de 1950 para tratar a los pacientes de determinadas afecciones musculares y anemia, así como para prevenir la atrofia muscular en pacientes inmovilizados tras alguna operación quirúrgica. La testosterona, una hormona esteroide anabolizante natural producida por el organismo, produce un incremento de la masa muscular y de los huesos, así como otros cambios físicos que se producen durante la pubertad y convierten a los niños en hombres. Convencidos de que grandes dosis de esteroides anabolizantes podrían provocar efectos masculinizantes en hombres desarrollados, muchos atletas los estuvieron utilizando a principios de la década de 1960 y aún hoy se siguen consumiendo. En 2004 salieron a la luz denuncias de consumo desenfrenado por parte de Barry Bonds, de los San Francisco Giants, y de otros jugadores de béisbol. Las investigaciones del llamado escándalo Balco han dejado atónitos a los seguidores de la liga americana de béisbol.

El consumo de esteroides hoy en día no está destinado sólo a los atletas que buscan destacar. De hecho, se estima que uno de cada 10 jóvenes varones ha probado los esteroides y el hábito se está extendiendo con rapidez entre las mujeres jóvenes.

El consumo de estas sustancias está prohibido en la mayoría de las competiciones de atletismo internacionales, y los consumidores (así como los médicos que las prescriben y los proveedores) se muestran naturalmente reacios a hablar de ello. No obstante, no cabe duda de que muchos culturistas profesionales y atletas que compiten en pruebas de gran fuerza muscular (como lanzamiento de disco o levantamiento de pesas) son consumidores a gran escala. Figuras del deporte como algunos futbolistas también han admitido haber consumido esteroides para ayudarse a preparar los partidos. Entre las ventajas de los esteroides anabolizantes, según los atletas, encontramos las siguientes: aumento de la fuerza y la masa muscular, aumento de la capacidad de transporte de oxígeno en la sangre (debido a un mayor volumen de glóbulos rojos), y aumento del comportamiento agresivo (el impuso de aplastar al contrincante).

Pero, ¿realmente estas sustancias tienen todos estos efectos? Los estudios de investigación han registrado aumentos de la fuerza isométrica y del peso corporal en los consumidores de esteroides. Aunque éste es el resultado con el que sueñan, existe una gran controversia sobre si los anabolizantes también mejoran la coordinación muscular y la resistencia que necesitan los corredores y otros deportistas.

¿Acaso las supuestas leves mejoras derivadas del consumo de esteroides disminuyen los riesgos? ¡Para nada! Los médicos afirman que los esteroides provocan hinchazón en la cara (una señal de consumo excesivo de esteroides), testículos marchitos e infertilidad, producen daños en el hígado y favorecen el cáncer de hígado. Asimismo, producen cambios en los niveles de colesterol en sangre, lo que puede poner a los consumidores habituales en riesgo de contraer enfermedades coronarias). Además, cerca de un tercio

> *"Cerca de un tercio de los consumidores de esteroides anabolizantes desarrollan graves problemas de índole psiquiátrica."*

de los consumidores de esteroides anabolizantes desarrollan graves problemas de índole psiquiátrica. Los comportamientos maniacos, con cambios de personalidad al estilo Jekyll-Hyde, y los comportamientos extremadamente violentos (la llamada "rabia de esteroide") acaban siendo co-

MÁS DE CERCA ¿Afectan los esteroides anabolizantes positivamente... *(continuación)*

munes, así como las depresiones y las desilusiones.

La androstenediona es una sustancia que se convierte en testosterona en el cuerpo. Acaba de salir a la luz y se vende como un tonificador nutritivo para el rendimiento. Se administra por vía oral y el hígado destruye gran parte de ella inmediatamente después de la ingestión, si bien los pocos miligramos que sobreviven temporalmente disparan los niveles de testosterona. Resultan preocupantes las noticias acerca del consumo de esta sustancia por parte del gran jugador de béisbol Mark McGwire antes de retirarse de los terrenos de juego y por parte de aspirantes a atletas, a partir del quinto grado, que roban la sustancia de las estanterías de las farmacias. La androstenediona no está regulada por la FDA americana *Food and Drug Administration*, y sus efectos a largo plazo aún son impredecibles. Algunos estudios recientes han descubierto que los jóvenes y los hombres que han consumido este suplemento alimentario han desarrollado unos niveles elevados de estrógenos, hormonas femeninas, así como de testosterona (lo que ha elevado el riesgo de sufrir efectos "feminizantes", como el crecimiento de los pechos), pubertad prematura y atrofiamiento en el crecimiento de los huesos, lo que conduce a una estatura menor de la normal.

La pregunta de por qué los atletas utilizan estas sustancias resulta fácil de responder: algunos afirman que están dispuestos a hacer cualquier cosa para ganar, excepto matarse a sí mismos. Pero, ¿no lo están haciendo sin darse cuenta?

los cuales se centra en una característica estructural o funcional particular. Si prestas atención a estas indicaciones, podrás simplificar en gran medida el aprendizaje de los nombres y movimientos de los músculos:

- **Dirección de las fibras musculares.** Algunos músculos reciben nombres relativos a alguna línea imaginaria, especialmente la línea media del cuerpo o el eje largo del hueso de una extremidad. Cuando el nombre del músculo incluye el término *recto*, sus fibras van paralelas a dicha línea imaginaria. Por ejemplo, el recto femoral es el músculo recto del muslo, o el fémur. De igual manera, el término *oblicuo* como parte del nombre de un músculo nos dice que las fibras musculares van en sentido oblicuo a la línea imaginaria.
- **Tamaño relativo del músculo.** Los términos como *máximo*, *mínimo* o *largo* se utilizan a menudo en los nombres de los músculos. Por ejemplo, el glúteo máximo es el músculo más largo del grupo de músculos del glúteo.
- **Localización del músculo.** Algunos músculos reciben el nombre del hueso al que están asociados. Por ejemplo, los músculos temporal y frontal están situados encima de los huesos temporal y frontal del cráneo, respectivamente.
- **Número de orígenes.** Cuando los términos *bíceps*, *tríceps* o *cuadriceps* forman parte del nombre de un músculo, se puede dar por hecho que el músculo tiene dos, tres o cuatro orígenes respectivamente.

  Por ejemplo, el bíceps del brazo tiene dos cabezas u orígenes y el tríceps tiene tres.
- **Localización del origen y la inserción del músculo.** En ocasiones, los músculos reciben nombres en función del lugar de acoplamiento. Por ejemplo, el músculo esternocleidomastoideo tiene su origen en el esternón y la clavícula, y se inserta en el proceso mastoideo del hueso temporal.
- **Forma del músculo.** Algunos músculos presentan una forma característica que permite identificarlos fácilmente. Por ejemplo, el músculo deltoides es más o menos triangular ("deltoides" significa triángulo).
- **Movimientos del músculo.** Cuando se llama a los músculos por sus movimientos, aparecen términos como *flexor*, *extensor* o *aductor*. Por ejemplo, todos los músculos aductores del muslo producen un efecto aductor y todos los músculos extensores de la muñeca la extienden.

Disposición de los fascículos

Los músculos esqueléticos se componen de fascículos, pero la forma en que éstos están dispuestos varía, lo que produce músculos con diversas estructuras y propiedades funcionales. A continuación se describen los patrones más comunes de disposición de fascículos.

El patrón es **circular** cuando los fascículos están dispuestos formando anillos concéntricos (Figura 6.14d). Los músculos circulares se encuentran a menudo alrededor de aberturas corporales externas a las que cierran mediante la contracción. El término *esfínter* ("exprimidor") es un término general para este tipo de músculos. Ejemplos de ellos son los músculos orbiculares de la boca y los ojos.

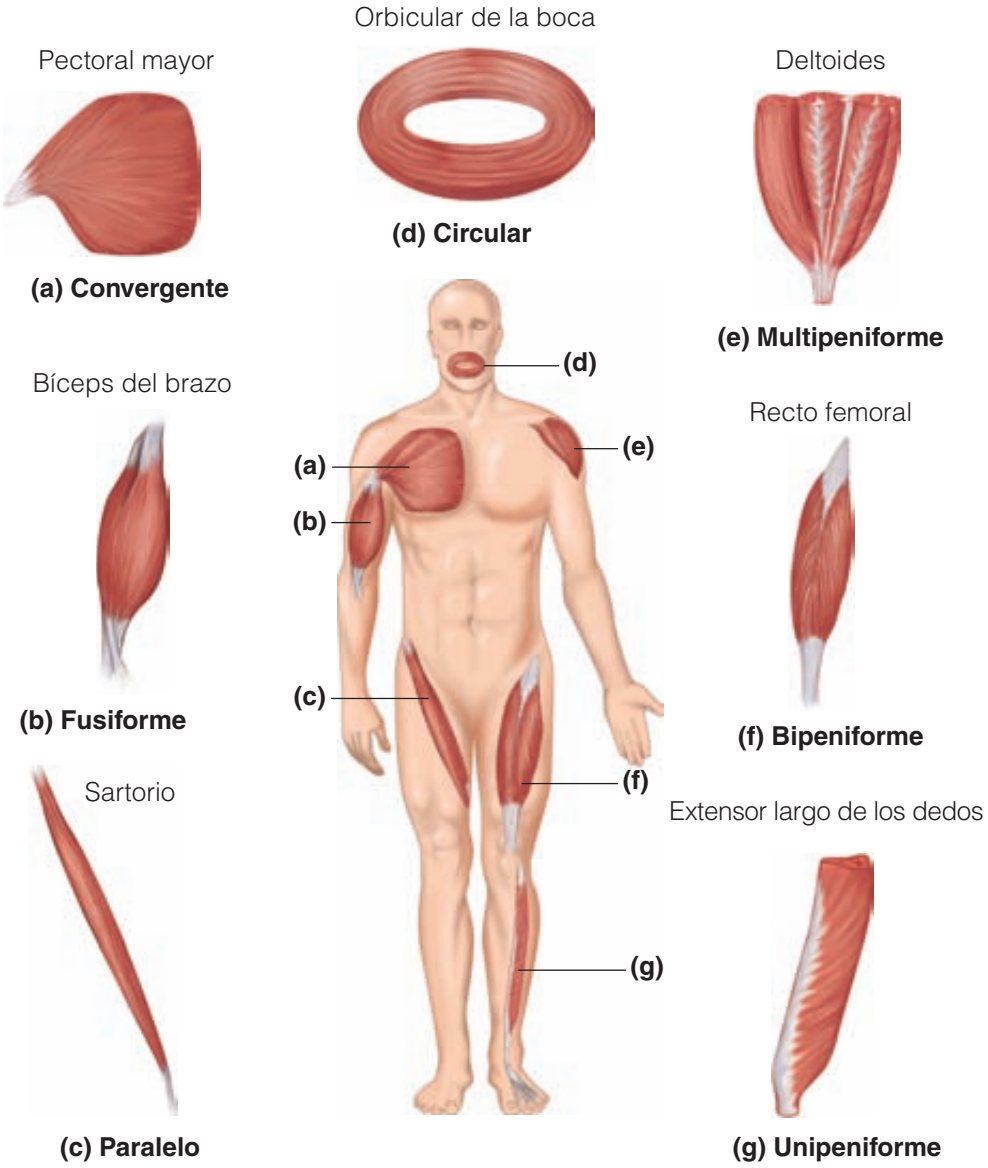


FIGURA 6.14 **Relación de la disposición fascicular con la estructura muscular.**

En un músculo **convergente** los fascículos convergen hacia un único tendón de inserción. Dicho músculo es triangular o con forma de abanico, como el músculo pectoral mayor o el tórax anterior (Figura 6.14a).

En una disposición **paralela,** los fascículos son paralelos al eje largo del músculo. Estos músculos tienen forma de tira (Figura 6.14c). Una modificación de una disposición paralela, denominada **fusiforme,** produce como resultado un músculo en forma de huso con un vientre expandido (sección media), como el músculo bíceps del brazo (Figura 6.14b).

En un patrón **peniforme** los fascículos cortos se adhieren en oblicuo al tendón central. En el músculo extensor de los dedos de la pierna, los fascículos se insertan en un lado del tendón, por lo que el músculo es *unipeniforme* (Figura 6.14g). Si los fascículos se insertan en lados opuestos o diferentes del tendón, el músculo es *bipeniforme* (Figura 6.14f) o *multipeniforme* (Figura 6.14e).

La disposición fascicular de un músculo determina su grado de movimiento y su potencia. Cuanto más largos y más paralelos se encuentran los fascículos al eje

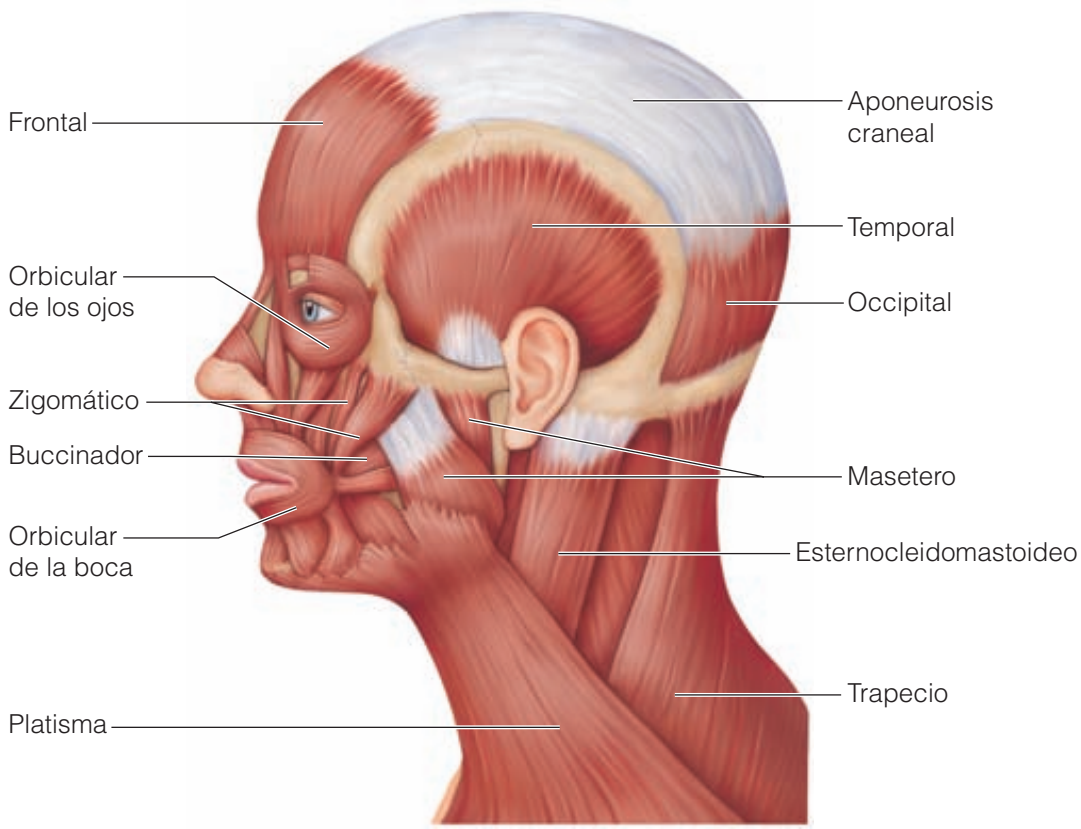


FIGURA 6.15 **Músculos superficiales de la cara y el cuello.**

largo del músculo, más pueden encogerse los músculos, si bien éstos no suelen ser muy potentes. La potencia de los músculos depende en gran medida del número total de células que tienen. Los fuertes músculos bipeniformes y multipeniformes, que contienen muchas fibras, se contraen muy poco pero son muy potentes.

¿LO HAS ENTENDIDO?

17. Basándote en sus nombres, deduce algunas características de los siguientes músculos: *tibial anterior, erector de la espina dorsal, recto abdominal*.
18. ¿Cuál es la disposición fascicular del músculo *orbicular de la boca*?
19. ¿Por qué son importantes los músculos estabilizadores y sinérgicos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Anatomía básica de los músculos esqueléticos

En este libro no analizaremos los cientos de músculos esqueléticos del cuerpo humano; sólo los más importantes. Todos los músculos superficiales que se tratan aquí se resumen en las Tablas 6.3 y 6.4, y se ilustran en las vistas generales del cuerpo de las Figuras 6.21 y 6.22 que acompañan a dichas tablas (págs. 216-219).

Los músculos de la cabeza y el cuello

Los músculos de la cabeza (Figura 6.15) constituyen un grupo interesante. Desempeñan numerosas funciones específicas y suelen agruparse en dos grandes categorías: músculos faciales y de la masticación. Los músculos faciales presentan características únicas, puesto que se encuentran insertados en tejidos blan-

dos como otros músculos o la piel. Cuando tiran de la piel de la cara, nos permiten sonreír ligeramente, sonreír de una forma más abierta, fruncir el ceño, hacer pucheros, dar un beso, etc. Los músculos de la masticación comienzan la descomposición de la comida. Todos los músculos de la cabeza y el cuello son dobles excepto el platisma, el orbicular de la boca, el frontal y el occipital.

Los músculos faciales

Frontal El frontal, que cubre el hueso frontal, se extiende desde la aponeurosis craneal hasta la piel de las cejas, donde se inserta. Este músculo nos permite elevar las cejas, como cuando hacemos un gesto de sorpresa, y arrugar la frente. El pequeño músculo **occipital** se sitúa en el extremo posterior de la aponeurosis craneal y cubre la parte posterior del cráneo. Tira del cuero cabelludo por la parte posterior.*

Orbicular de los ojos El orbicular de los ojos presenta fibras dispuestas en círculos alrededor de los ojos. Nos permite cerrar los ojos, entornarlos, parpadear y hacer guiños.

Orbicular de la boca El orbicular de la boca es el músculo circular de los labios. Debido a que cierra la boca y hace sobresalir los labios, a menudo se le llama el "músculo del beso".

Buccinador El carnoso músculo buccinador atraviesa de forma horizontal la mejilla y se inserta en el músculo orbicular de la boca. Aplana la mejilla (como cuando se silba o se toca la trompeta). Asimismo, puede incluirse dentro de los músculos de la masticación porque comprime la mejilla para sujetar la comida entre los dientes mientras masticamos.

Zigomático El músculo zigomático se extiende desde la comisura de los labios al hueso de la mejilla. A menudo se le conoce como el "músculo de la sonrisa" porque tira de las comisuras de los labios hacia arriba.

Los músculos de la masticación

Se ha mencionado el músculo buccinador entre los músculos faciales, aunque pertenece a este grupo.

Masetero Dado que se extiende desde la apófisis zigomática del hueso temporal hasta la mandíbula, el masetero cubre el ángulo de la mandíbula inferior. Este músculo cierra la mandíbula al tirar de ella hacia arriba.

Temporal El temporal es un músculo con forma de abanico que reviste el hueso temporal. Se inserta en la mandíbula y actúa como un músculo sinérgico del masetero al cerrar la mandíbula.

Los músculos del cuello

La mayor parte de los músculos del cuello, que mueven la cabeza y la cintura escapular, son pequeños y con forma de tira. Sólo mencionaremos dos músculos aquí.

Platisma El platisma es un músculo con forma de lámina que cubre el cuello anterolateral (véase la Figura 6.15). Surge del tejido conectivo que cubre los músculos del pecho y se inserta en la zona situada alrededor de la boca. Tira de las comisuras de los labios por la parte inferior y produce la caída de la boca.

Esternocleidomastoideo Los dos músculos esternocleidomastoideos son músculos de dos cabezas situados a cada lado del cuello. De las dos cabezas de cada músculo, una surge del esternón y la otra de la clavícula. Las cabezas se funden antes de insertarse en la apófisis mastoidea del hueso temporal. Cuando los dos esternocleidomastoideos se contraen a la vez, provocan la flexión del cuello (el hecho de que inclinen la cabeza hacia abajo les ha conferido el sobrenombre de "los músculos de la oración"). Si sólo se contrae un músculo, la cabeza gira hacia el hombro situado en la dirección opuesta e inclina la cabeza hacia su propio lado.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En algunos partos complicados, uno de los músculos esternocleidomastoideos puede resultar dañado y provocar espasmos. Un recién nacido con dicha lesión presenta **tortícolis.** ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

20. ¿Qué músculo eleva las cejas?
21. ¿Qué dos músculos actúan de forma sinérgica al cerrar la mandíbula?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Los músculos del tronco

Entre los músculos del tronco se encuentran los siguientes (1) los que mueven la columna vertebral (de los que la mayor parte son músculos antigravitatorios

*Aunque la actual terminología anatómica se refiere al frontal y occipital como *vientres* o *frontal* y *occipital* del músculo *epicraneano* ("sobre el cráneo") seguiremos llamándolos a lo largo del texto frontal y occipital.

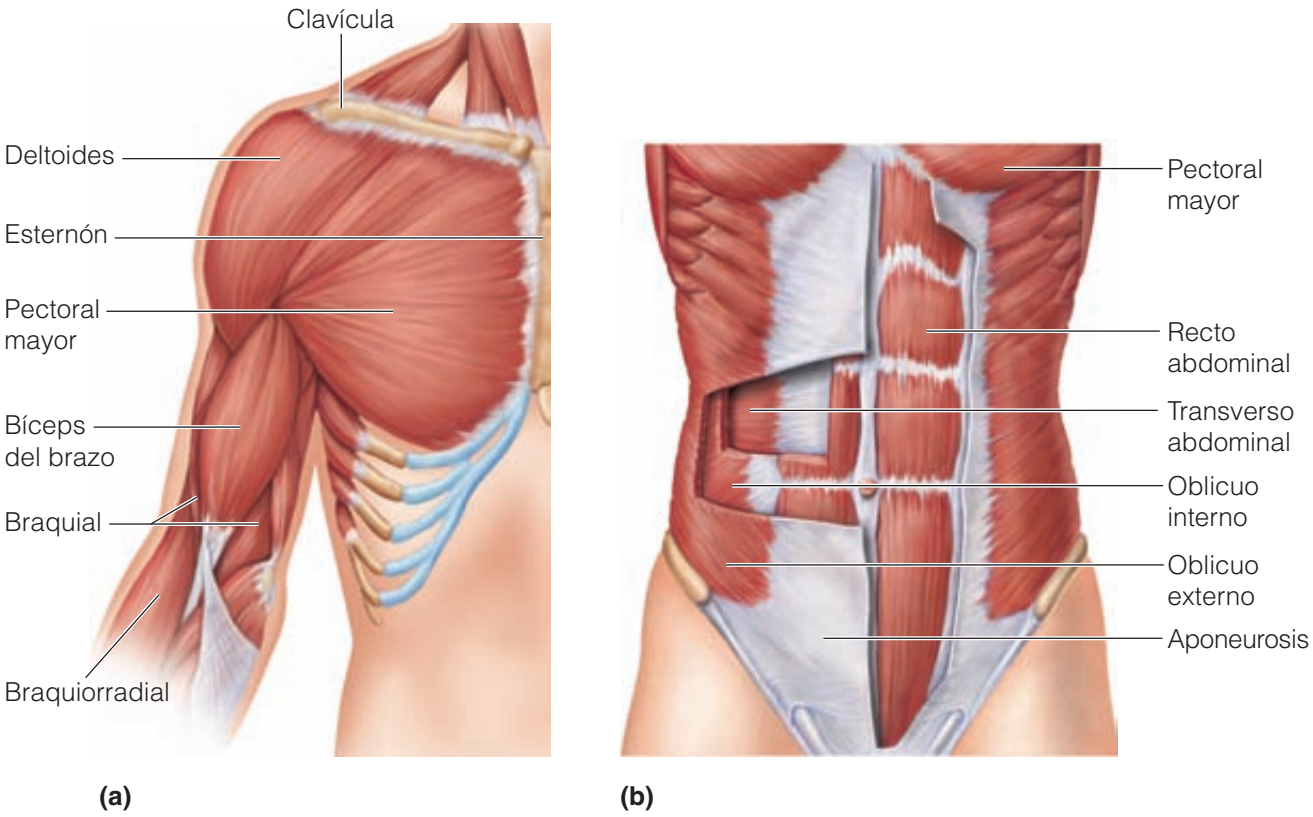


FIGURA 6.16 Músculos del tronco anterior, los hombros y el brazo. (a) Músculos que cruzan la articulación de los hombros, provocando así los movimientos del brazo. Se ha quitado de la imagen el platisma del cuello. **(b)** Músculos de la pared abdominal. Se han quitado partes de los músculos superficiales de la parte derecha del abdomen para mostrar los músculos más profundos.

posteriores); (2) los músculos del tórax anterior, que mueven las costillas, la cabeza y los brazos; y (3) los músculos de la pared abdominal, que ayudan a mover la columna vertebral y, lo que es más importante, constituyen la "cintura natural" de la pared abdominal.

Los músculos anteriores (Figura 6.16)

Pectoral mayor El pectoral mayor es un músculo grande con forma de abanico que cubre la parte superior del pecho. Tiene su origen en el esternón, la cintura escapular y las primeras seis costillas. Se inserta en el húmero proximal. Este músculo forma la pared anterior de la axila y tiene un movimiento de aducción y flexión del brazo.

Músculos intercostales Los músculos intercostales son músculos profundos que se encuentran entre las costillas (aunque no se muestran en la Figura 6.16, que muestra únicamente los músculos superficiales, se muestran en la Figura 6.21, Pág. 216). Los intercostales externos resultan importantes para la respiración, puesto que ayudan a elevar la caja torácica cuando inspiramos. Los intercostales internos, que se encuentran más profundos que los externos, descienden la caja torácica, lo cual nos ayuda a expulsar el aire de los pulmones al espirar.

Músculos de la cintura abdominal Los músculos abdominales anteriores (recto abdominal, oblicuos externos e internos, transverso del abdomen constituyen una "cintura" natural que refuerza el tronco del cuerpo. En conjunto, nos recuerdan a una estructura de contrachapado porque las fibras de cada músculo o pareja de músculos van en direcciones diferentes. Así como el contrachapado resulta excepcionalmente fuerte para su grosor, los músculos abdominales conforman una pared muscular apropiada para la labor de contención y protección de las vísceras.

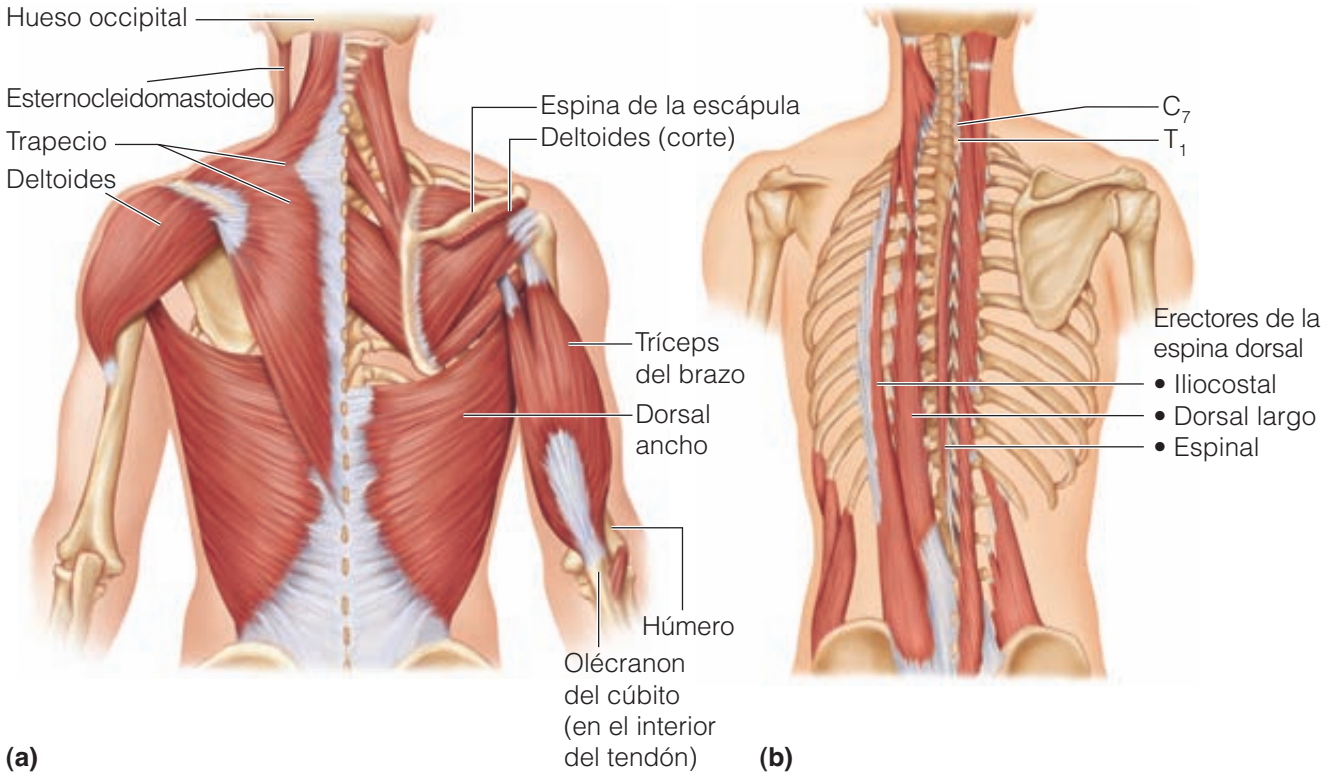


FIGURA 6.17 Músculos posteriores de cuello, tronco y brazo. (a) Músculos superficiales. **(b)** Los músculos erectores de la espina dorsal (dorsal largo, iliocostal y espinal), músculos profundos de la espalda.

- **Recto abdominal.** La pareja de músculos con forma de tira son los músculos más superficiales del abdomen. Se extienden del pubis al tórax y están dentro de la aponeurosis. Su principal función es flexionar la columna vertebral. Asimismo, comprimen los contenidos abdominales durante la defecación y el parto, y participan a la hora de respirar forzosamente.
- **Oblicuo externo.** Los músculos externos oblicuos son una pareja de músculos superficiales que componen las paredes laterales del abdomen. Sus fibras se extienden hacia abajo y por el medio de las últimas ocho costillas y se insertan en el ílion. Al igual que los rectos abdominales, flexionan la columna vertebral pero también hacen girar el tronco y lo doblan de forma lateral.
- **Oblicuo interno.** Los músculos internos oblicuos son una pareja de músculos situados debajo de los externos oblicuos. Sus fibras están colocadas formando ángulos rectos con respecto a las de los oblicuos externos. Surgen de la cresta ilíaca y se insertan en las tres últimas costillas. Desempeñan las mismas funciones que los oblicuos externos.
- **Transverso del abdomen.** El transverso del abdomen es el músculo más profundo de la pared abdominal y tiene fibras que se extienden en horizontal a través del abdomen. Surge de las costillas inferiores y la cresta ilíaca, y se inserta en el pubis. Comprime los contenidos abdominales.

Los músculos posteriores (Figura 6.17)

Trapecio Los músculos trapecios son los músculos más superficiales del cuello y el tronco superior. Cuando se ven juntos, forman una masa muscular con forma de diamante o cometa. Tienen un origen muy amplio. Cada músculo se extiende desde el hueso occipital del cráneo bajando por la columna vertebral hasta el final de las vértebras torácicas. Después se apartan lateralmente para introducirse en la espina escapular y la clavícula. Los músculos trapecios extienden la cabeza (por tanto son antagonistas del esternocleidomas-

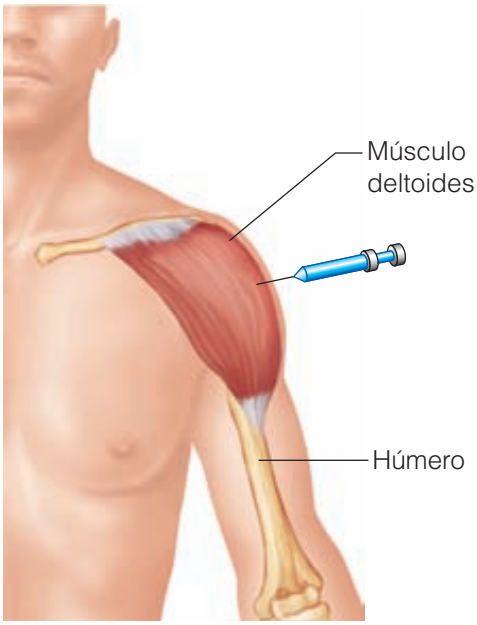


FIGURA 6.18 **El carnoso músculo deltoides es el lugar preferido para administrar inyecciones.**

toideo). También pueden elevar, bajar, aducir y estabilizar la escápula.

Dorsal ancho Los dorsales anchos son dos músculos largos y planos que cubren la baja espalda. Tienen su origen en la baja espina dorsal y el ílion, y después se desplazan hacia arriba y se insertan en el húmero proximal. Los dorsales anchos extienden y aducen el húmero. Se trata de unos músculos muy importantes cuando hay que hacer un movimiento potente con el brazo, como al nadar o dar un puñetazo.

Erector de la espina El grupo de erectores de la espina dorsal conforman los músculos principales de la extensión de la espalda. Estos músculos emparejados son músculos profundos de la espalda; se muestran en la Figura 6.17b. Cada erector de la espina es un músculo compuesto por tres columnas de músculos (dorsal largo, ileocostal y espinal) que abarcan toda la longitud de la columna vertebral. Estos músculos no sólo actúan como poderosos extensores de la espalda ("erectores"), sino que también proporcionan una resistencia que ayuda a controlar el movimiento de doblar el cuerpo por la cintura. Como consecuencia del daño en las estructuras de la espalda, estos músculos presentan espasmos, origen típico del dolor de la zona lumbar.

Cuadrado lumbar Los carnosos cuadrados lumbares forman parte de la pared abdominal posterior. Si actúan por separado, cada músculo de la pareja flexiona la espina dorsal de forma lateral. Si actúan a la vez, extienden la espina dorsal. Estos músculos parten de las crestas ilíacas y se insertan en la vértebra lumbar superior (Figura 6.17b).

Deltoides Los deltoides son músculos carnosos con forma de triángulo que dan una forma redondeada a los hombros (véase la Figura 6.17a). Debido a que son tan voluminosos, son uno de los lugares preferidos para las inyecciones (Figura 6.18) cuando se deben administrar de forma intramuscular cantidades relativamente pequeñas de medicamentos (inferiores a 5 ml). El origen de cada deltoides serpentea por la cintura escapular desde la espina de la escápula hasta la clavícula. Se inserta en el húmero proximal. Los deltoides son los músculos principales de la aducción del brazo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

22. ¿Qué grupo de músculos son los principales de la extensión de la espalda?
23. ¿Qué característica estructural hace que la musculatura abdominal sea particularmente fuerte para su grosor?
24. ¿Qué músculo del tronco posterior es el sinérgico del músculo pectoral mayor en la aducción del brazo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Los músculos de las extremidades superiores

Los músculos de las extremidades superiores se dividen en tres grupos. En el primer grupo se incluyen los músculos que surgen de la cintura escapular y cruzan la articulación de los hombros hasta insertarse en el húmero (véanse las Figuras 6.16 y 6.17a). Ya hemos hablado de estos músculos que mueven el brazo: el pectoral mayor, el dorsal ancho y el deltoides.

El segundo grupo provoca un movimiento en la articulación del codo. Estos músculos encierran el húmero y se insertan en los huesos del antebrazo. En esta sección trataremos solamente los músculos de este grupo.

En el tercer grupo se incluyen los músculos del antebrazo, que se insertan en los huesos de la mano y provocan su movimiento. Los músculos de este grupo son finos y con forma de huso, y son muchos. No les trataremos aquí excepto para mencionar su nomenclatura general y sus funciones. Como regla general, los músculos del antebrazo tienen nombres que reflejan sus

actividades. Por ejemplo, el flexor de los carpos y los músculos flexores de los dedos, localizados en la sección anterior del antebrazo, provocan la flexión de la muñeca y los dedos, respectivamente. El extensor de los carpos y los músculos extensores de los dedos, localizados en la sección lateral y posterior del antebrazo, extienden las mismas estructuras. (Algunos de estos músculos se describen brevemente en la Tabla 6.4 y se ilustran en la Figura 6.22).

Músculos del húmero que actúan en el antebrazo

Todos los músculos *anteriores* del brazo provocan la flexión del codo. En orden decreciente de fuerza encontramos: el braquial, el bíceps del brazo y el braqueorradial (Figuras 6.16a y 6.21).

Bíceps del brazo El bíceps del brazo es el músculo más familiar del brazo porque sobresale al flexionar el codo (véase la Figura 6.16a). En su origen tiene dos cabezas que parten de la cintura escapular y se insertan en la tuberosidad radial. Este músculo es el poderoso músculo principal de la flexión del antebrazo y produce la supinación de éste. La mejor forma de recordar su función es pensar en abrir una botella de vino. El bíceps supina el antebrazo para hacer girar el sacacorchos y después flexiona el codo para sacar el corcho.

Braquial El braquial se encuentra por debajo del bíceps y resulta tan importante para la flexión del codo como él. El braquial levanta el cúbito, así como el bíceps hace lo propio con el radio.

Braquiorradial El braquiorradial es un músculo bastante débil que surge en el húmero y se inserta en el antebrazo distal (véase la Figura 6.21). Por tanto, reside principalmente en el antebrazo.

Tríceps del brazo El tríceps del brazo es el único músculo que surge de la parte posterior del húmero (véase la Figura 6.17a). Sus tres cabezas parten de la cintura escapular y el húmero proximal, y se insertan en el olécranon del cúbito. Se trata del poderoso músculo principal de la extensión del codo y del antagonista del bíceps. Este músculo a menudo se conoce como el "músculo del boxeador" porque puede producir un puñetazo de KO con el brazo estirado.

Músculos de las extremidades inferiores

Los músculos que actúan en las extremidades inferiores provocan movimientos en las articulaciones de la cadera, las rodillas y los pies. Se encuentran entre los músculos más grandes y más fuertes del organismo y están especializados en hacernos caminar y en equilibrar el cuerpo. Debido a que la cintura pélvica está compuesta por huesos pesados y fusionados que permiten pocos movimientos, no resulta necesario ningún grupo especial de músculos para estabilizarla.

Esto difiere en gran medida de la cintura escapular, que requiere varios músculos estabilizadores.

Muchos músculos de las extremidades inferiores abarcan dos articulaciones y pueden provocar movimiento en las dos. Por tanto, los términos *origen* e *inserción* se pueden intercambiar a menudo cuando se trata de estos músculos.

Los músculos que actúan en el muslo son músculos sólidos que ayudan a mantener el cuerpo en una posición erguida frente a la gravedad y provocar diversos movimientos de la articulación de la cadera. Los músculos que actúan en la pierna constituyen la carne del muslo. (Recordemos que en lenguaje común el término *pierna* hace referencia a toda la extremidad inferior, pero en términos de anatomía se trata solamente de la parte situada entre la rodilla y el tobillo). Los músculos del muslo cruzan la rodilla y provocan su flexión o extensión. Debido a que muchos de los músculos también tienen adhesiones a la cintura pélvica, pueden provocar movimientos en la articulación de la cadera.

Los músculos que tienen su origen en la pierna provocan movimientos diversos del tobillo y el pie. Sólo mencionaremos tres músculos de este grupo, pero existen muchos otros que provocan la flexión y la extensión del tobillo y el pie.

Los músculos que causan movimientos en la articulación de la cadera (Figura 6.19)

Glúteo mayor El glúteo mayor es un músculo superficial de la cadera que forma la mayor parte de la carne de la nalga (Figura 6.19a). Se trata de un poderoso extensor de la cadera que actúa para alinear el muslo con la pelvis. Aunque no resulta muy importante a la hora de caminar, es probablemente el músculo más importante para extender la cadera cuando se requiere potencia, como cuando subimos las escaleras o saltamos. Surge de los huesos sacro e ílion y se inserta en la tuberosidad gluteal del fémur y en el gran tracto tendinoso *iliotibial*.

Glúteo medio El glúteo medio se extiende desde el ílion hasta el fémur, por debajo del glúteo mayor en casi toda su longitud. El glúteo medio es un músculo aductor de la cadera y resulta importante a la hora de estabilizar la pelvis mientras caminamos. El glúteo medio es un lugar adecuado para administrar inyecciones intramusculares, especialmente cuando se trata de inyecciones de más de 5 ml (véase la Figura 6.19b). Aunque podría parecer que el largo y carnoso glúteo mayor que constituye la parte principal de la masa de la nalga sería una mejor opción, hay que tener presente que la parte

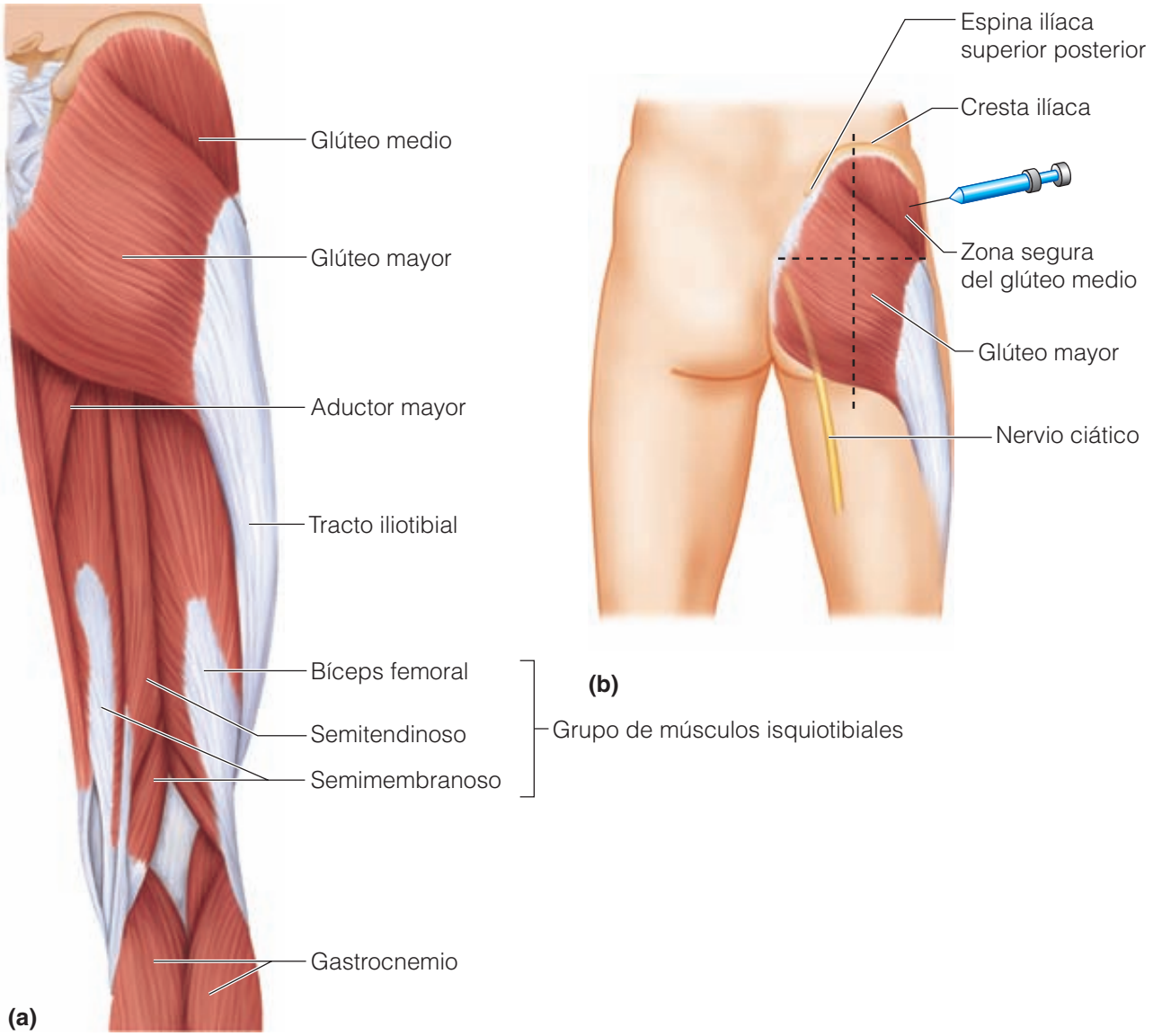


FIGURA 6.19 Músculos pélvicos, de la cadera y del muslo de la parte derecha del cuerpo.
(a) Vista posterior de los músculos de la cadera y el muslo.
(b) Diagrama que muestra las estructuras profundas de la región del glúteo y el lugar adecuado para administrar inyecciones en el músculo glúteo medio.

media de cada nalga se encuentra encima del gran *nervio ciático*; por tanto, se debe evitar esta zona. Esto se puede conseguir mediante la división mental de la nalga en cuatro cuadrantes iguales (delimitadas por las líneas divisorias de la Figura 6.19b). El cuadrante superolateral se encuentra encima del músculo glúteo medio, que a menudo se trata de un lugar muy sano para las inyecciones intramusculares.

Iliopsoas El iliopsoas es un músculo fusionado compuesto por dos músculos: el ilíaco y el psoas mayor (Figura 6.19c). Se extiende desde el hueso ilíaco y las vértebras inferiores hasta la profundidad de la pelvis para insertarse en el trocánter menor del fémur. Se trata de un músculo principal de la flexión de la cadera. Asimismo, evita que el tronco superior se caiga hacia atrás cuando estamos de pie.

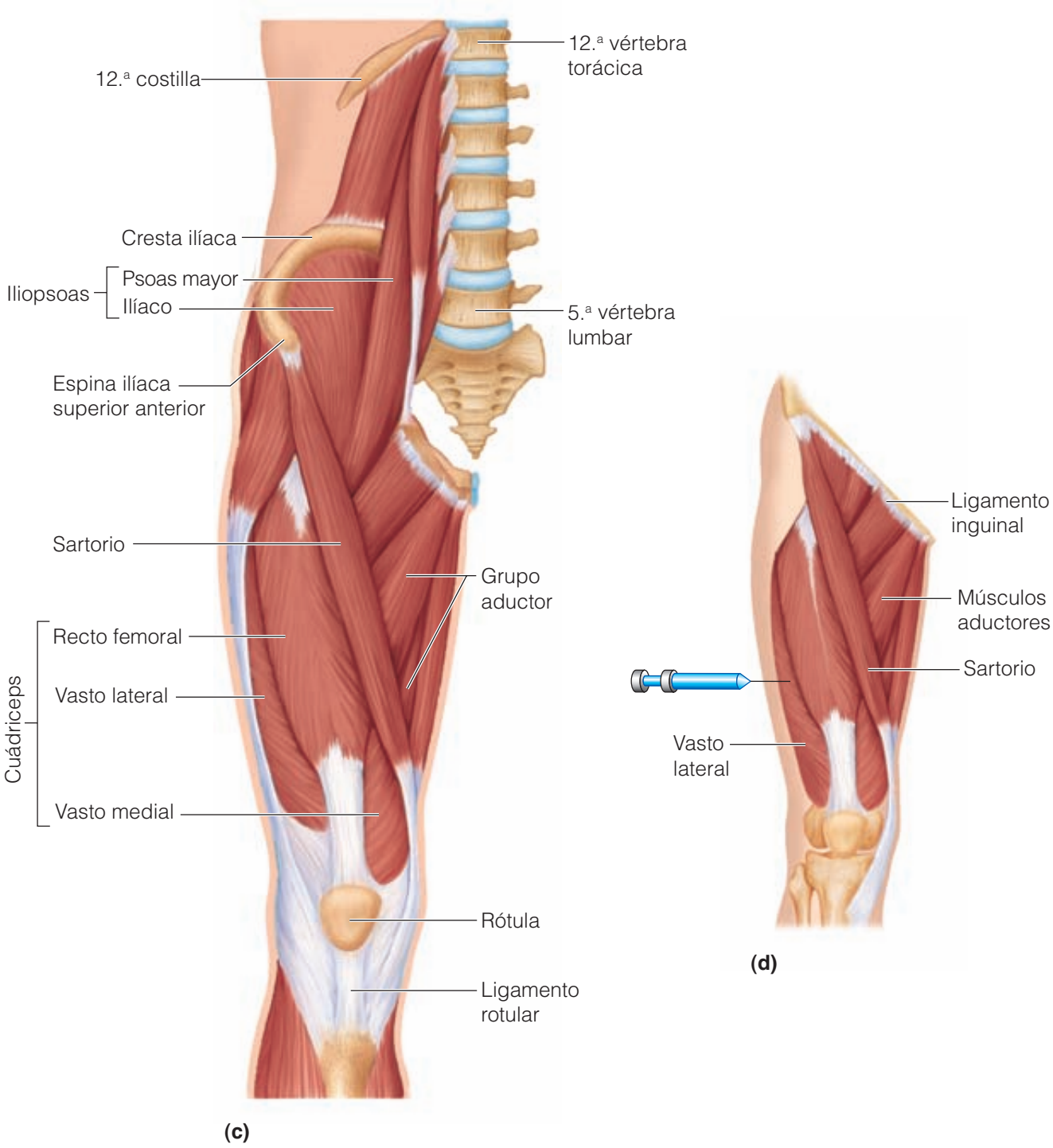


FIGURA 6.19 ***(continuación)*** **(c)** Vista anterior de los músculos de la cadera y el muslo. **(d)** Diagrama que muestra el lugar adecuado para administrar inyecciones en el muslo lateral (músculo vasto lateral).

Músculos aductores Los músculos aductores constituyen la masa muscular en la parte medial de cada muslo (Figura 6.19c). Como su nombre indica, aducen o juntan los muslos. Sin embargo, debido a que la gravedad realiza la mayor parte del trabajo por ellos, tienden a volverse flácidos fácilmente. A menudo se necesitan ejercicios especiales para mantenerlos a tono. Los aductores tienen su origen en la pelvis y se insertan en el fémur proximal.

Músculos que provocan movimiento en la articulación de la rodilla (Figura 6.19)

Músculos isquiotibiales Los músculos que forman la masa muscular del muslo posterior son los isquiotibiales (Figura 6.19a). El grupo se compone de tres músculos: **bíceps femoral, semimembranoso** y **semitendinoso,** los cuales se originan en la tuberosidad isquiática y se extienden hacia la parte baja del muslo para insertarse en los dos lados de la tibia proximal. Son músculos principales de la extensión del muslo y la flexión de la rodilla. Su nombre viene del hecho de que los carniceros cuelgan los jamones de los tendones (compuestos por músculos de la cadera y el muslo) para ahumarlos. Estos tendones se pueden palpar en la parte posterior de la rodilla.

Sartorio Comparado con otros músculos del muslo que hemos descrito, el fino sartorio con forma de tira no resulta demasiado importante. Sin embargo, se trata del músculo más superficial del muslo y, por tanto, resulta bastante difícil no notarlo (Figura 6.19c). Se extiende de forma oblicua a través del muslo desde la cresta ilíaca anterior hasta el lado medial de la tibia. Se trata de un débil flexor del muslo. A menudo se le conoce como "el músculo del sastre" porque actúa como un músculo sinérgico que nos permite cruzar las rodillas, posición en la que se suele representar a los sastres.

Grupo del cuádriceps El grupo del cuádriceps se compone de 4 músculos (el **recto femoral** y 3 **músculos vastos**) que surgen del muslo anterior (sólo se pueden ver dos músculos vastos en la Figura 6.19. El tercero, el vasto intermedio, se ve tapado por el recto femoral, que está situado encima de él). Los músculos vastos surgen del fémur; el recto femoral se origina en la pelvis. Los cuatro músculos se insertan en la tuberosidad tibial a través del ligamento rotular. El grupo actúa en su conjunto para extender la rodilla con potencia, como cuando chutamos un balón.

Debido a que el recto femoral cruza dos articulaciones, la cadera y la rodilla, también puede ayudar a flexionar la cadera. El vasto lateral y el recto femoral se utilizan a menudo como lugares para administrar inyecciones intramusculares (Figura 6.19d), especialmente en los niños que aún no han desarrollado los glúteos.

Músculos que provocan el movimiento en el tobillo y el pie (Figura 6.20)

Tibial anterior El tibial anterior es un músculo superficial de la pierna anterior. Surge de la tibia superior y después transcurre en paralelo a la cresta anterior a medida que se desplaza hacia los huesos tarsos, donde se inserta mediante un tendón largo. Interviene en la flexión dorsal y la inversión el pie.

Extensor largo de los dedos Este músculo lateral a la tibia anterior surge del cóndilo tibial lateral y el radio proximal, y se inserta en las falanges de los dedos 2 a 5. Se trata de un músculo principal de la extensión de los dedos y un flexor dorsal del pie.

Músculos fibulares Los tres músculos fibulares (**fibular largo, fibular corto** y **peroneo anterior**) se encuentran en la parte lateral de la pierna. Surgen de la fíbula y se insertan en los huesos metatarsos del pie. El grupo en su conjunto realiza la flexión plantar y la eversión del pie.

Gastrocnemio El músculo gastrocnemio es un músculo de dos vientres que forma la pantorrilla curva de la pierna posterior. Tiene dos cabezas en su origen y cada una surge de un lado del fémur distal y se inserta a través del gran *tendón calcáneo* (*tendón de Aquiles*) en el talón del pie. Se trata de un músculo principal para la flexión plantar del pie; por este motivo, se denomina a menudo "músculo del bailarín". Si se corta su tendón de inserción, resulta muy difícil caminar. El pie se arrastra porque no se puede levantar el talón.

Sóleo El carnoso sóleo se encuentra por debajo del gastrocnemio. Debido a que surge en la tibia y la fíbula (en lugar de hacerlo en el fémur), no repercute en el movimiento de la rodilla. No obstante, como el gastrocnemio, se inserta en el tendón calcáneo y es un fuerte flexor plantar del pie.

Recuerda que la mayor parte de los músculos superficiales que hemos descrito antes se muestran en las vistas anteriores y posteriores del cuerpo en su conjunto en las Figuras 6.21 y 6.22. y se resumen en las Tablas 6.3 y 6.4. Tómate un tiempo para repasar estos músculos de nuevo antes de continuar con el capítulo.

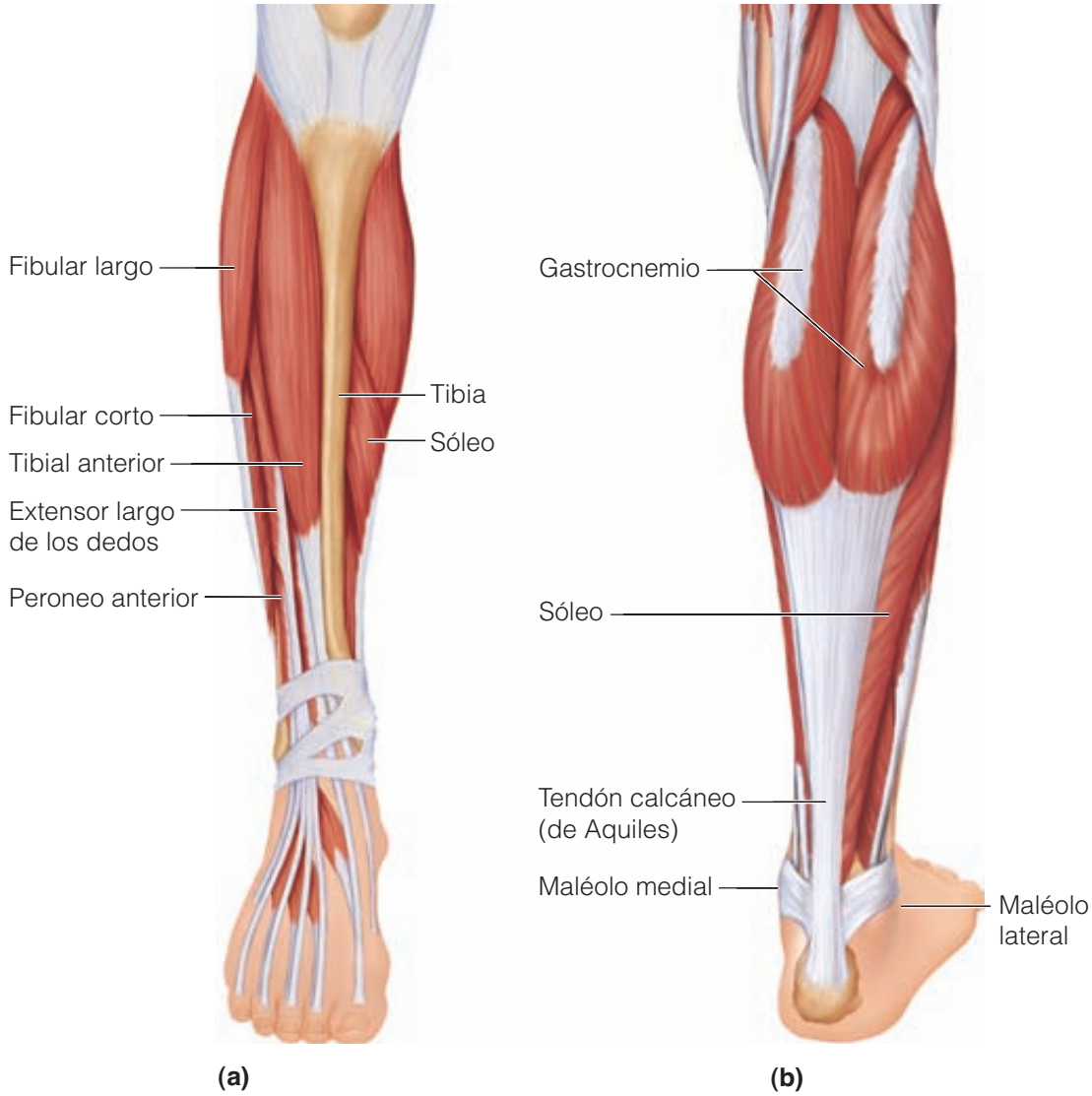


FIGURA 6.20 **Los músculos superficiales de la pierna derecha.**
(a) Vista anterior. **(b)** Vista posterior.

¿LO HAS ENTENDIDO?

25. ¿Qué músculo es el antagonista del bíceps del brazo cuando el bíceps flexiona el codo?
26. ¿Qué grupo muscular es antagonista de los músculos isquiotibiales?
27. ¿Qué dos lugares son buenos para administrar inyecciones intramusculares en adultos?
28. ¿Qué dos músculos se insertan en el tendón calcáneo? ¿Qué movimientos provocan?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

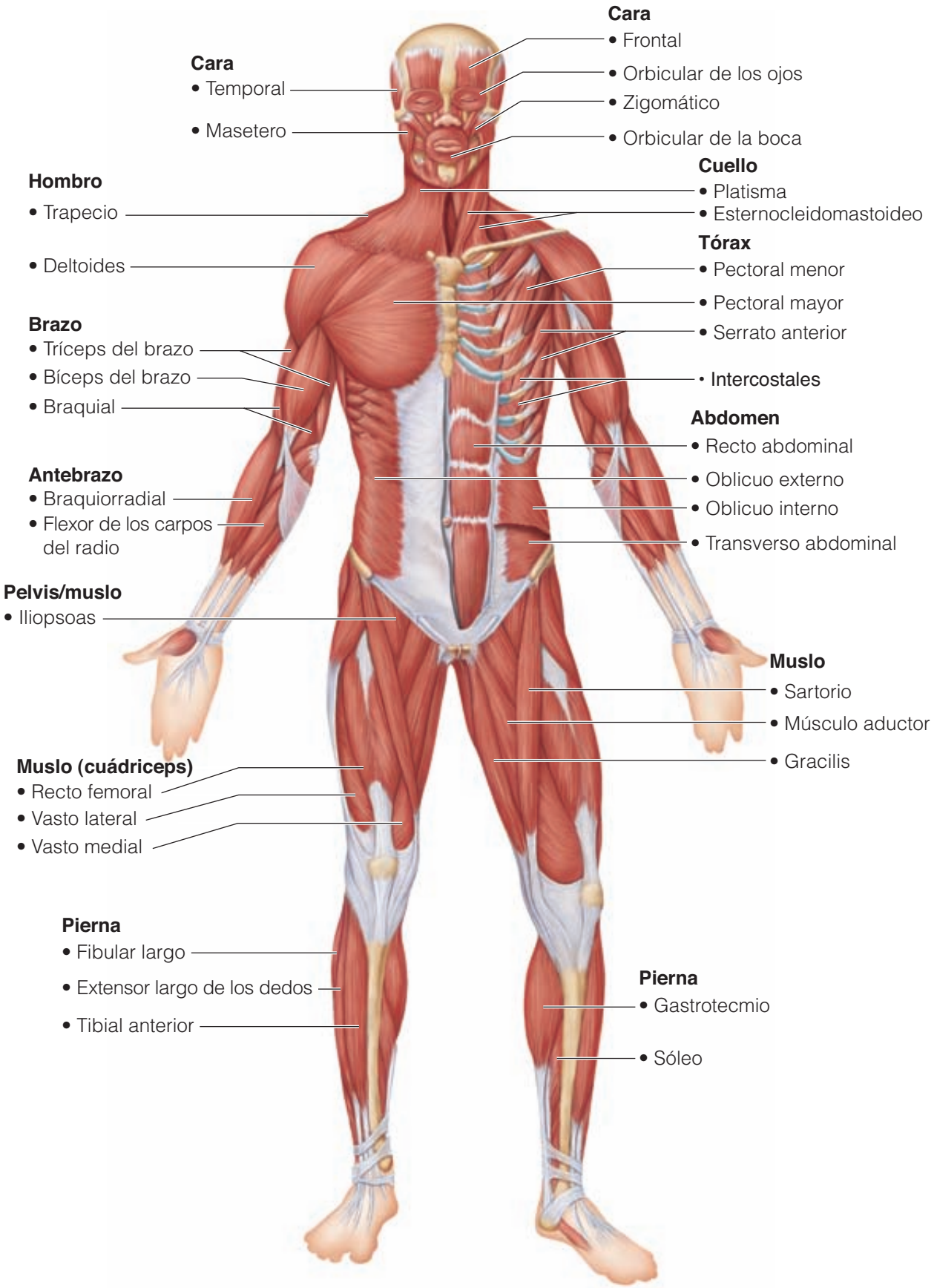


FIGURA 6.21 **Los músculos superficiales mayores de la superficie anterior del cuerpo.**

TABLA 6.3 Los músculos anteriores superficiales del cuerpo (Véase la Figura 6.21)

Nombre	Origen	Inserción	Acciones principales
Músculos de la cabeza y el cuello			
Frontal	Aponeurosis craneal	Piel de las cejas	Eleva las cejas
Orbicular de los ojos	Hueso frontal y maxila	Tejido alrededor de los ojos	Hace guiñar y cierra los ojos
Orbicular de la boca	Mandíbula y maxila	Piel y músculo alrededor de la boca	Cierra y saca hacia fuera los labios
Temporal	Hueso temporal	Mandíbula	Cierra la mandíbula
Zigomático	Hueso zigomático	Piel y músculo en las comisuras de los labios	Eleva las comisuras de los labios
Masetero	Hueso temporal	Mandíbula	Cierra la mandíbula
Buccinador	Maxila y mandíbula cerca de los molares	Orbicular de la boca	Comprime la mejilla como al silbar o chupar; sujeta la comida entre los dientes durante el masticado
Esternocleidomastoideo	Esternón y clavícula	Hueso temporal (proceso mastoideo)	Flexiona el cuello; gira la cabeza
Platisma	Tejido conectivo que cubre los músculos superiores del pecho	Tejido alrededor de la boca	Tira hacia abajo de las comisuras de los labios
Músculos del tronco			
Pectoral mayor	Esternón, clavícula y costillas de la primera a la sexta	Húmero proximal	Aduce y flexiona el húmero
Recto abdominal	Pubis	Esternón y costillas de la quinta a la séptima	Flexiona la columna vertebral
Oblicuo externo	Las ocho costillas inferiores	Cresta ilíaca	Flexiona y hace girar la columna vertebral
Músculos del brazo y el hombro			
Bíceps del brazo	Escápula de la cintura escapular	Radio proximal	Flexiona el codo y supina el anterazo
Braquial	Húmero distal	Cúbito proximal	Flexiona el codo
Deltoides	Véase Tabla 6.4		Abduce el brazo
Músculos de la cadera/muslo/pierna			
Iliopsoas	Ilion y vértebras lumbares	Fémur (trocánter inferior)	Flexiona la cadera
Músculos aductores	Pelvis	Fémur proximal	Aduce el muslo
Sartorio	Ilion	Tibia proximal	Flexiona el muslo en la cadera
Grupo del cuádriceps (vasto medial, intermedio y lateral; y recto femoral)	Vastos: fémur	Tuberosidad tibial a través del ligamento rotular	Todos extienden la rodilla; el recto femoral también flexiona la cadera en el muslo
	Recto femoral: pelvis	Tuberosidad tibial a través del ligamento rotular	
Tibial anterior	Tibia proximal	Primer cuneiforme (tarso) y primer metatarso del pie	Realiza la flexión dorsal e invierte el pie
Extensor largo de los dedos	Tibia proximal y radio	Dedos distales del pie 2-5	Extiende los dedos y realiza la flexión dorsal del pie
Músculos fibulares	Fíbula	Metatarsos del pie	Realiza la flexión plantar y la eversión del pie

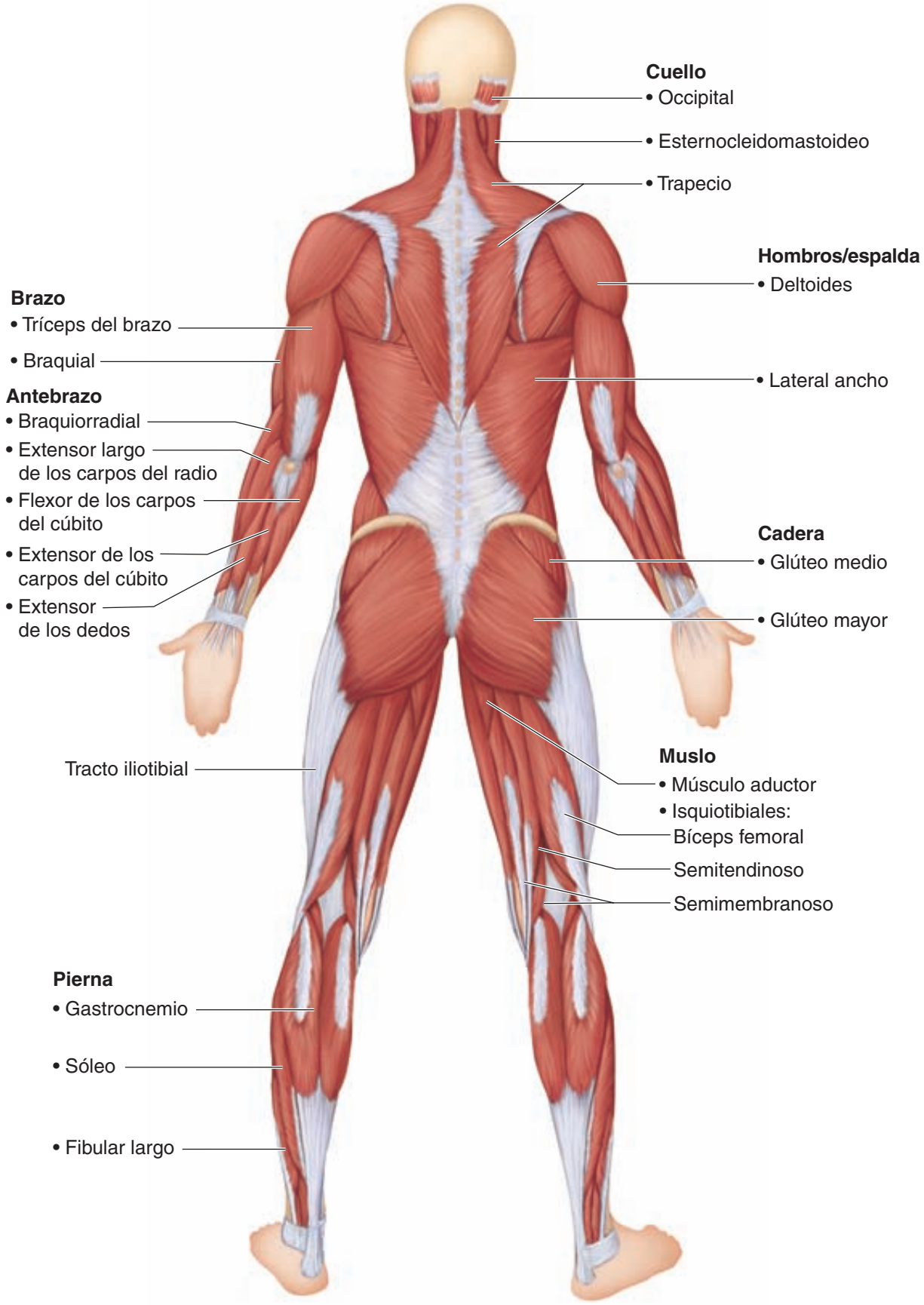


FIGURA 6.22 **Los músculos superficiales mayores de la superficie posterior del cuerpo.**

TABLA 6.4 Los músculos posteriores superficiales del cuerpo (también se muestran algunos músculos del antebrazo) (Véase la Figura 6.22)

Nombre	Origen	Inserción	Acciones principales
Músculos del cuello/tronco/hombros			
Trapecio	Hueso occipital y todas las vértebras cervicales y torácicas	Espina escapular y clavícula	Extiende el cuello y aduce la escápula
Dorsal ancho	Espina inferior y cresta ilíaca	Húmero proximal	Extiende y aduce el húmero
Erector de la espina dorsal*	Crestas ilíacas, costillas 3 a 12 y vértebras	Costillas, vértebras torácicas y cervicales	Extiende la espalda
Cuadrado de los lumbares	Cresta ilíaca, fascia lumbar	Procesos transversos de las vértebras lumbares superiores	Flexiona la espina lateralmente; extiende la espina
Deltoides	Espina escapular y clavícula	Húmero (tuberosidad deltoidea)	Abduce el húmero
Músculos del brazo/antebrazo			
Tríceps del brazo	Cintura escapular y húmero proximal	Olécranon del cúbito	Extiende el codo
Flexor de los carpos del radio	Húmero distal	Segundo y tercer metacarpianos	Flexiona la muñeca y abduce la mano (véase la Figura 6.21)
Flexor de los carpos del cúbito	Húmero distal y cúbito posterior	Carpianos de la muñeca y quinto metacarpiano	Flexiona la muñeca y aduce la mano
Flexor superficial de los dedos†	Húmero distal, cúbito y radio	Falanges medias de los dedos segundo a quinto	Flexiona la muñeca y los dedos
Extensor de los carpos del radio	Húmero	Base de los metacarpianos segundo y tercero	Extiende la muñeca y abduce la mano
Extensor de los dedos	Húmero distal	Falanges distales de los dedos segundo a quinto	Extiende los dedos y la muñeca
Músculos de la cadera/muslo/piernas			
Glúteo mayor	Sacro e ílion	Fémur proximal (tuberosidad gluteal)	Extiende la cadera (cuando se requiere una extensión potente)
Glúteo medio	Ílion	Fémur proximal	Abduce el muslo; estabiliza la pelvis mientras se camina
Músculos isquiotibiales (semitendinoso, semimembranoso, bíceps femoral)	Tuberosidad isquiática	Tibia proximal (cabeza de fíbula en el caso del bíceps femoral)	Flexiona la rodilla y extiende la cadera
Gastrocnemio	Fémur distal	Calcánea (talón a través del tendón calcáneo)	Realiza la flexión plantar del pie y flexiona la rodilla
Sóleo	Tibia proximal y fíbula	Calcánea	Realiza la flexión plantar del pie

*El erector de la espina y el cuadrado de las lumbares son músculos profundos y no se muestran en la Figura 6.22.
†Aunque su nombre indica que se trata de un músculo superficial, el flexor superficial de los dedos se encuentra por debajo del flexor de los carpos del radio y no resulta visible en la superficie.

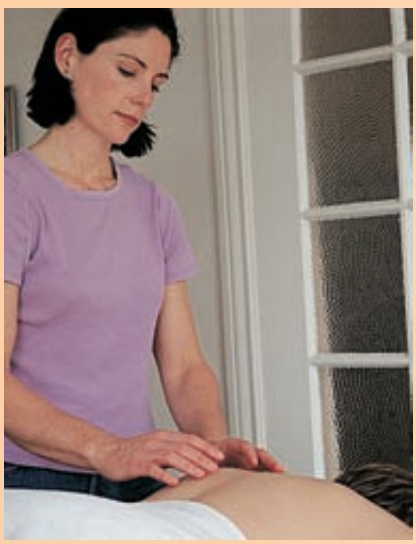
orientación PROFESIONAL

MASOTERAPEUTA

Para ser eficaz, un masoterapeuta necesita conocer perfectamente la anatomía y la fisiología.

Muchos pensamos que un masaje es simplemente algo que nos hace sentir bien. Aunque esto es cierto, dar un masaje correctamente requiere mucha habilidad.

Diana Syverud, copropietaria del centro de masajes y autocuración Berkeley, en Berkeley, California, no sólo hace que



sus clientes se sientan bien; les ayuda a recuperarse de lesiones y les evita otros posibles problemas. Muchos de ellos sufren dolores debido al uso excesivo de determinados músculos. "Muchas veces veo a personas que pasan horas delante del ordenador", nos explica. "Esto puede llevar a problemas en el flexor de los carpos del cúbito, y los músculos del cuello y la espalda. Asimismo, trato a músicos que tienen dolores por pasar horas tocando el violín y a camareras a las que les duelen las muñecas de llevar bandejas pesadas."

"Cuando estaba estudiando Anatomía y Fisiología, a veces me preguntaba por qué tenía que aprender todo eso", admite. "No obstante, hoy me alegro de haberlo hecho. Necesito conocer dónde están situados los músculos en el cuerpo y a dónde se adhieren los músculos. Por ejemplo, un músculo puede contraerse y pellizcar el nervio ciático, lo que provoca un gran dolor. Busco el músculo que está contraído y utilizo varias técnicas de masaje para liberarlo. Asimismo, ayudo a los clientes que no tienen problemas musculares a estirar y fortalecer sus músculos, aumentando así su rango de movimientos." Ella afirma que "es importante conocer las zonas del cuerpo donde un masaje está contraindicado, tales como el esófago o el hueso hioides."

"Las clases de Anatomía y Fisiología son fascinantes porque realmente se aprende cómo funciona el propio cuerpo", comenta. "Este conocimiento resulta valioso para el cliente y para tu propio bienestar."

Lo que más le gusta a Syverud de su trabajo es el contacto personal. "Normalmente me reúno con el cliente durante al menos una hora cada vez, durante un periodo de varios meses", afirma. "Inicialmente muchos vienen por una razón determinada y después me visitan durante años después de haber resuelto el problema original. Nos reunimos semanalmente mientras tienen dolores y después cambiamos a citas mensuales para ayudarles a prevenir futuros problemas." Algunos clientes acuden a ella por recomendación de los quiroprácticos, pero la mayoría vienen por su cuenta. Si ella piensa que sus problemas requieren más de una sesión, les remite a los profesionales de la salud adecuados, como quiroprácticos, psiquiatras o internistas.

La formación de los masoterapeutas varía ampliamente. Los requisitos de formación estatales en EE.UU. varían entre 200 y más de 500 horas. Algunos estados exigen a los terapeutas que cuenten con una licencia, mientras que otros no lo hacen. Además, los procedimientos para acreditarse varían de estado federado a estado federado. Independientemente de su duración, todos los programas de masaje efectivo requieren un conocimiento de la Anatomía y la Fisiología. Syverud estima que estas materias ocuparon más de un tercio de su curso de formación. Ella trabaja en una clínica privada, pero muchos masoterapeutas trabajan en *spas*, centros de salud, o centros de quiropráctica. Los empresarios a menudo prefieren contratar personas con el título de la AMTA *(American Masaje Therapist Association)*. Para obtener más información póngase en contacto con:

> *"La Anatomía y la Fisiología son fascinantes; uno aprende cómo funciona su propio organismo."*

AMTA
820 Davis Street, Suite 100
Evanston, IL 60201
(847) 864-0123
http://www.amtamassage.org

Para obtener más información sobre esta profesión, haga clic en el vínculo *Focus on careers* en www.anatomyandphysiology.com.

Formación y desarrollo del sistema muscular

En el embrión en desarrollo, el sistema muscular se divide en segmentos (parecido al plan estructural de un gusano) y después cada segmento está invadido por nervios. Los músculos de las regiones torácica y lumbar se extienden bastante debido a que deben cubrir y mover los huesos de las extremidades. Los músculos y el control del sistema nervioso sobre éstos se desarrollan bastante temprano en el embarazo. La madre en cinta se ve sorprendida a menudo por los primeros movimientos del feto, que se suelen producir hacia la decimosexta semana de embarazo.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Existen muy pocos problemas musculares congénitos. La excepción es la **distrofia muscular,** un grupo de enfermedades heredadas que destruyen los músculos que afectan a determinados grupos musculares. Los músculos crecen debido a la grasa y al depósito de tejido conectivo, pero las fibras musculares degeneran y se atrofian.

La forma más común y más grave es la **distrofia muscular de Duchenne,** que se produce casi exclusivamente en los varones. Esta trágica enfermedad se diagnostica a menudo entre los 2 y los 7 años de edad. Niños activos y con una apariencia normal se vuelven torpes y se caen frecuentemente cuando sus músculos se debilitan. La enfermedad progresa desde las extremidades hacia arriba y acaba afectando a la cabeza y a los músculos del pecho. Niños que tienen esta enfermedad rara vez viven más de 20 años y suelen morir a causa de insuficiencia respiratoria. Aunque la causa de la distrofia muscular se ha identificado (las fibras musculares afectadas carecen de una proteína, denominada distrofina, que ayuda a mantener el sarcolema), aún no se ha podido descubrir una cura. ▲

Nada más nacer todos los movimientos de un niño son del tipo reflexivo grueso. Debido a que el sistema nervioso debe madurar antes de que el niño pueda controlar los músculos, podemos seguir el rastro del aumento de la eficiencia del sistema nervioso al observar el desarrollo del control de los músculos por parte del bebé. Este desarrollo se produce en una dirección cefálica/caudal y los movimientos musculares gruesos preceden a los finos. Los niños pueden levantar su cabeza antes de poderse sentar y se pueden sentar antes de poder caminar. El control muscular también se desarrolla en una dirección proximal/distal, esto es, los niños pueden realizar movimientos gruesos como decir adiós con las manos y arrastrar objetos hacia sí antes de poder utilizar su mano para coger objetos pequeños. Durante toda la infancia, el control del sistema nervioso de los músculos esqueléticos se vuelve cada vez más preciso. Hacia la adolescencia media, ya hemos alcanzado el máximo nivel de desarrollo de este control natural y podemos quedarnos con ese nivel o precisarlo aún más mediante el entrenamiento atlético.

Debido a la riqueza del suministro sanguíneo que reciben, los músculos esqueléticos son sorprendentemente resistentes a la infección a lo largo de la vida, y si ello se acompaña de una buena nutrición, muy pocos problemas suelen afectar a los músculos esqueléticos. Sin embargo, deberíamos repetir que los músculos, así como los huesos, *se atrofian*, incluso con un tono normal, si no se utilizan continuamente. Un programa de ejercicio continuado durante toda la vida mantiene el cuerpo funcionando a su mejor nivel posible.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Una enfermedad rara que puede afectar a los músculos durante la edad adulta es la **miastenia grave** (*asthen*= debilidad), una enfermedad que se caracteriza por la caída de los párpados superiores, dificultad al tragar y al hablar, y debilidad y cansancio muscular generalizados. La enfermedad conlleva una escasez de receptores de acetilcolina en las articulaciones neuromusculares. La sangre de muchos de estos pacientes contiene anticuerpos a los receptores de acetilcolina, lo que sugiere que se trata de una enfermedad autoinmune. Aunque al principio los receptores puedan estar presentes en cantidades normales, se van destruyendo a medida que la enfermedad avanza. En cualquier caso, las células musculares no se estimulan correctamente y cada vez se vuelven más débiles. La muerte se produce como resultado de la incapacidad de los músculos respiratorios para funcionar **(insuficiencia respiratoria).** ▲

A medida que envejecemos, la cantidad de tejido conectivo en los músculos aumenta, y la cantidad de tejido muscular disminuye. Por tanto, los músculos se vuelven más fibrosos o más nervudos. Debido a que los músculos esqueléticos representan tanto para la masa corporal, el peso corporal comienza a decaer en las personas mayores como consecuencia natural de la pérdida de masa muscular. Otro resultado de la pérdida de masa muscular es la reducción de la fuerza muscular. La fuerza se reduce un 50% hacia los 80 años de edad. Practicar ejercicio regularmente puede limitar el impacto del envejecimiento en el sistema muscular y las delicadas personas mayores que comienzan a hacer pesas (utilizar pesos en las manos y en las piernas) pueden recuperar la masa muscular y aumentar notablemente su fuerza.

¿LO HAS ENTENDIDO?

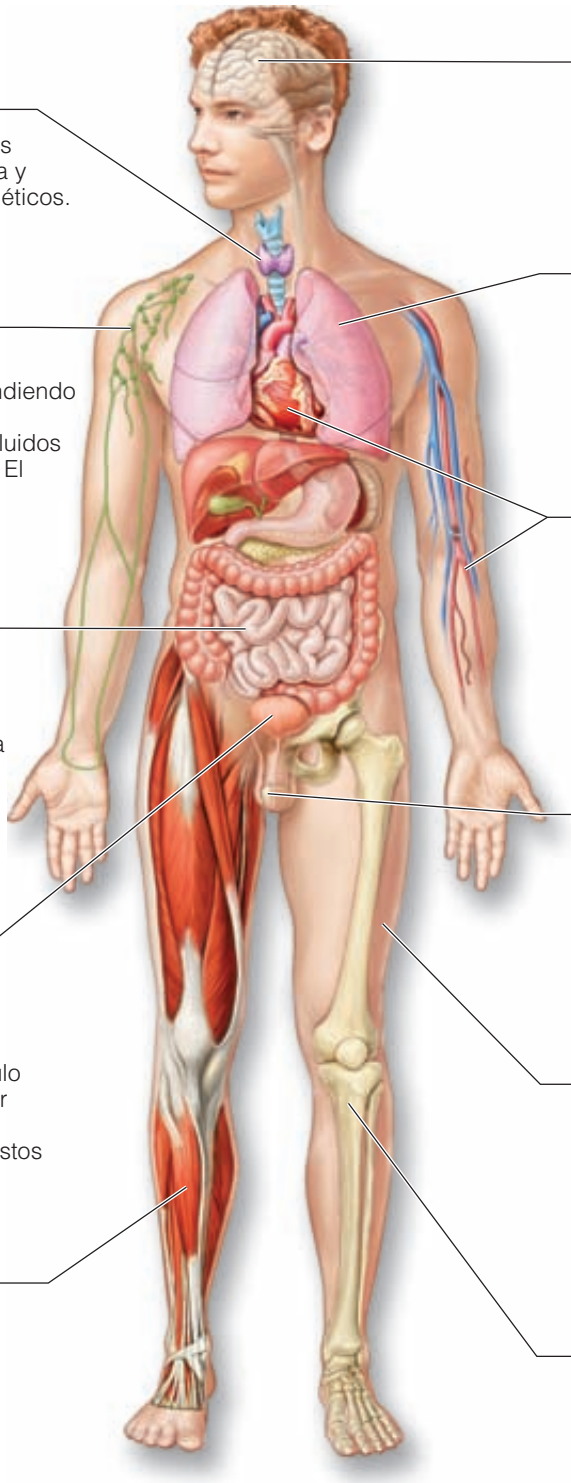
29. ¿Qué debe ocurrir antes de que los niños controlen sus músculos?

30. ¿En qué medida afecta practicar ejercicio de por vida a nuestros músculos esqueléticos y a la masa muscular en la tercera edad?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA MUSCULAR*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema endocrino

- La hormona del crecimiento y los andrógenos influyen en la fuerza y la masa de los músculos esqueléticos.

Sistema linfático/inmunidad

- El ejercicio físico puede mejorar o empeorar la inmunidad dependiendo de su intensidad.
- Los vasos linfáticos drenan los fluidos que se han colado por el tejido. El sistema inmunitario protege los músculos de las enfermedades.

Sistema digestivo

- La actividad física aumenta la movilidad gastrointestinal en estado de reposo.
- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para la salud muscular; el hígado metaboliza el ácido láctico.

Sistema urinario

- La actividad física promueve el funcionamiento correcto de la expulsión de orina. Un músculo esquelético constituye el esfínter voluntario de la uretra.
- El sistema urinario elimina los restos de nitrógeno.

Sistema muscular

Sistema nervioso

- La actividad de los músculos faciales nos permite expresar emociones.
- El sistema nervioso estimula y regula la actividad muscular.

Sistema respiratorio

- El ejercicio muscular aumenta la capacidad respiratoria
- El sistema respiratorio. proporciona oxígeno y elimina el dióxido de carbono.

Sistema cardiovascular

- La actividad de los músculos esqueléticos aumenta la eficiencia del funcionamiento cardiovascular; ayuda a prevenir la arterioesclerosis y provoca hipertrofia cardiaca.
- El sistema cardiovascular suministra oxígeno y nutrientes a los músculos; elimina los desechos.

Sistema reproductor

- Los músculos esqueléticos ayudan a sustentar los órganos pélvicos (por ejemplo, el útero en las mujeres); asiste la erección del pene y el clítoris.
- El andrógeno de los testículos favorece un aumento del tamaño de los músculos esqueléticos.

Sistema integumentario

- El ejercicio muscular favorece la llegada de la circulación a la piel y mejora la salud de ésta; el ejercicio también aumenta el calor corporal, que la piel ayuda a disipar.
- La piel protege los músculos al cerrarlos por el exterior.

Sistema esquelético

- La actividad de los músculos esqueléticos mantiene la salud y la fuerza de los huesos.
- Los huesos sirven de palanca para la actividad muscular.

RESUMEN

A continuación se presentan unas herramientas de estudio interactivo que sirven a modo de repaso adicional de los temas clave del Capítulo 6.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Visión general de los tejidos musculares (págs. 183-187)

1. Los músculos esqueléticos son los músculos adheridos al esqueleto que mueven las extremidades y otras partes del cuerpo. Sus células son largas, estriadas y multinucleares. Se controlan de forma voluntaria. Las coberturas de tejido conectivo (endomisio, perimisio y epimisio) encierran y protegen las fibras musculares y aumentan la fuerza de los músculos esqueléticos. Los músculos esqueléticos constituyen el sistema muscular.

   WEB Actividad: Chapter 6, Connective Tissue Wrappings of Skeletal Muscle.

2. Las células de los músculos lisos son uninucleares, con forma de huso y están dispuestas en capas opuestas en las paredes de los órganos huecos. Cuando se contraen, las sustancias (orina, comida, un bebé) se desplazan por las vías internas del organismo. Los músculos lisos no se controlan de forma voluntaria.

3. Las células del músculo cardiaco son células estriadas y ramificadas que encajan de forma precisa unas con otras y están dispuestas en haces espirales en el corazón. Su contracción bombea la sangre a través de los vasos sanguíneos. El control del músculo cardiaco es involuntario.

4. La única función del tejido muscular es contraerse o acortarse. Cuando se contrae, provoca el movimiento, mantiene la postura, estabiliza las articulaciones y genera calor.

Anatomía microscópica de los músculos esqueléticos (págs. 187-189)

1. Las células cilíndricas y multinucleares de los músculos esqueléticos están empaquetadas junto con unas organelas denominadas miofibrillas. El modelo de bandas (estriaciones) de las miofibrillas y la célula en su conjunto refleja la disposición regular de los filamentos finos (que contienen actina) y gruesos (miosina) dentro de los sarcómeros, las unidades contráctiles que componen las miofibrillas.

   WEB Actividad: Chapter 6, Microscopic Anatomy of a Skeletal Fiber..

   IP Tema del sistema muscular: Anatomy Review: Skeletal Muscle Tissue, pages 7-9.

2. Cada miofibrilla se encuentra encerrada de forma holgada en un retículo endoplasmático especializado denominado retículo sarcoplásmico (SR), el cual desempeña un importante papel en el almacenamiento y la liberación de iones de calcio. Los iones de calcio son el desencadenante final para la contracción de las fibras musculares.

Actividad de los músculos esqueléticos (págs. 189-198)

1. Todas las células musculares esqueléticas están estimuladas por neuronas motoras. Cuando la neurona libera un neurotransmisor (acetilcolina), la permeabilidad del sarcolema cambia, lo que permite a los iones de sodio penetrar en la célula muscular. Esto produce una corriente eléctrica (potencial de acción) que fluye por todo el sarcolema, lo que da como resultado la liberación de iones de calcio desde el SR.

   IP Tema del sistema muscular: The Neuromuscular Junction, pages 3-6.

2. El calcio se une a las proteínas reguladoras y expone los sitios de unión de la miosina, lo que permite que las cabezas de miosina de los filamentos gruesos se adhieran. Las cabezas adheridas pivotan, deslizando los filamentos finos hacia el centro del sarcómero, y se produce la contracción. El ATP proporciona la energía para el proceso de deslizamiento, que continúa mientras el calcio iónico esté presente.

   IP Tema del sistema muscular: Sliding Filament Theory, pages 3-28.

3. Aunque las células musculares individuales se contraen totalmente cuando se las estimula de forma adecuada, un músculo (un órgano) responde a estímulos en grados diferentes, esto es, exhibe respuestas graduales.

   WEB Actividad: Chapter 6, Graded Muscle Responses.

4. La mayoría de las contracciones de los músculos esqueléticos son tetánicas (lisas y sostenidas) porque los rápidos impulsos nerviosos alcanzan el músculo, y el músculo no puede relajarse totalmente entre las contracciones. La fuerza de la contracción muscular refleja el número relativo de células musculares que se contraen (más = más fuerte).

5. El ATP, la fuente de energía inmediata para la contracción muscular, se almacena en las fibras musculares en pequeñas cantidades que se consumen rápidamente. El ATP se regenera de 3 formas. De la más rápida a la más lenta, las forma de regeneración de ATP son las siguientes: por medio de una reacción conjunta de fosfato de creatina con ADP, por medio de la glucólisis anaeróbica y la formación de ácido láctico, y por medio de la respiración aeróbica. Sólo la respiración aeróbica necesita oxígeno.

   IP Tema del sistema muscular: Muscle Metabolism, pages 6-13.

6. Si la actividad muscular es enérgica y prolongada, se produce la fatiga muscular debido a la acumulación de ácido láctico en el músculo y a una reducción de su suministro de energía (ATP). Tras el ejercicio, el déficit de oxígeno se recupera con una respiración rápida y fuerte.

7. Las contracciones musculares son isotónicas (el músculo se acorta y se produce el movimiento) o isométricas (el músculo no se acorta, pero aumenta su tensión).

8. El tono muscular mantiene los músculos sanos y listos para reaccionar. Es el resultado de una serie de impulsos nerviosos entrecortados enviados a diferentes células de un músculo. Si se destruye la aportación nerviosa, el músculo pierde el tono, se paraliza y se atrofia.
9. Atrofia de los músculos inactivos. Los músculos que se ven obligados a realizar ejercicios de resistencia (casi) más allá de su capacidad aumentan en tamaño y fuerza. Los músculos sujetos a un ejercicio regular aeróbico se vuelven más eficientes y más fuertes, y pueden trabajar durante más tiempo sin cansarse. El ejercicio aeróbico también beneficia a otros sistemas del organismo.

Movimientos musculares, tipos y nombres (págs. 198-206)

1. Todos los músculos están adheridos a los huesos por dos puntos de anclaje. El origen es el anclaje inmóvil; la inserción es el anclaje móvil. Cuando se produce la contracción, la inserción se mueve hacia el origen.
2. Entre los movimientos corporales se encuentran la inflexión, la extensión, la abducción, la aducción, la circunducción, la rotación, la pronación, la supinación, la inversión, la eversión, la flexión dorsal, la flexión plantar y la oposición.
3. Sobre la base de sus funciones generales en el organismo, los músculos se clasifican como principales, antagonistas, sinérgicos y estabilizadores.
4. La denominación de los músculos atiende a diversos criterios, entre los que se incluyen el tamaño, la forma, el número y la localización de los orígenes, los huesos asociados, y la acción del músculo.
5. Los músculos presentan diversas disposiciones de fascículos que influyen en su fuerza y en el grado de acortamiento.

WEB Actividad: Chapter 6, Muscles of the Body; Posterior Surface Musculature.

Anatomía básica de los músculos esqueléticos (págs. 206-219)

1. Los músculos de la cabeza se dividen en dos grupos. Entre los músculos de la expresión facial se encuentran el frontal, los orbiculares de la boca y de los ojos y el zigomático. Los músculos de la masticación son el masetero, el temporal y el buccinador (que también es un músculo de la expresión facial).
2. Los músculos del tronco y el cuello mueven la cabeza, la cintura escapular y el tronco, y forman la cintura abdominal. Entre los músculos anteriores del cuello y el tronco se encuentran el esternocleidomastoideo, el pectoral mayor, los intercostales, el recto abdominal, los oblicuos externo e interno y el transverso del abdomen. Entre los músculos posteriores del cuello y el tronco se encuentran el trapecio, el dorsal ancho y el deltoides. Los músculos profundos de la espalda son los erectores de la espina dorsal.
3. Entre los músculos de la extremidad superior se encuentran los músculos que causan el movimiento en la articulación del hombro, el codo y la mano. Entre los músculos que provocan el movimiento en el codo se incluyen el braquial, el bíceps del brazo, el braquiorradial y el tríceps del brazo.
4. Los músculos de las extremidades inferiores provocan el movimiento en la cadera, la rodilla y el pie. Entre ellos encontramos el iliopsoas, el glúteo mayor y el medio, los aductores, el grupo del cuádriceps y los músculos isquiotibiales, el gastrocnemio, el tibial anterior, los músculos fibulares, el sóleo y el extensor largo de los dedos.

Formación y desarrollo del sistema muscular (pág. 221)

1. Un aumento del control muscular refleja la maduración de la mielinización del sistema nervioso. El control muscular se consigue en una dirección cefálica/caudal y proximal/distal.
2. Para mantenerse sanos, los músculos deben ejercitarse de forma regular. Sin ejercicio se atrofian y con ejercicio demasiado exigente se hipertrofian.
3. A medida que envejecemos, la masa muscular disminuye y los músculos se vuelven más nervudos. El ejercicio ayuda a retener la masa y la fuerza musculares.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Si comparamos los micrográficos de electrones de una fibra de un músculo esquelético relajada y de la fibra de un músculo totalmente contraída, ¿cuál de los siguientes elementos veríamos sólo en la fibra *relajada*?
   a. Discos Z.
   b. Tríadas.
   c. Bandas I.
   d. Bandas A.
   e. Zonas H.
2. Después de que la ACh se adhiera a sus receptores en la unión neuromuscular, ¿cuál es el siguiente paso?
   a. Se abren los canales de sodio.
   b. El calcio se une a las proteínas reguladoras en los filamentos delgados.
   c. Los puentes cruzados se adhieren.
   d. El ATP se hidroliza.
3. ¿Por qué tipo de ejercicio se vería aumentada la capacidad de levantar un pesado sofá?
   a. Aeróbico.
   b. Aguante.
   c. Resistencia.
   d. Natación.

4. Alguien que hace dedo en la autopista está _____ el dedo.
   a. extendiendo
   b. abduciendo
   c. aduciendo
   d. oponiendo

5. ¿Cuáles de las siguientes opciones son criterios para la denominación de los músculos?
   a. Anclajes.
   b. Tamaño.
   c. Función.
   d. Ubicación.

6. ¿Cuál de los siguientes músculos se adhiere a los huesos de la cadera?
   a. Recto abdominal.
   b. Recto femoral.
   c. Vasto medial.
   d. Grupo larguísimo del erector de la espina.

7. ¿Cuál de los siguientes músculos del muslo provoca el movimiento en la articulación de la cadera?
   a. Recto femoral.
   b. Bíceps femoral.
   c. Vasto lateral.
   d. Semitendinoso.

8. ¿Cuál de los siguientes músculos se inserta en el brazo?
   a. Bíceps del brazo.
   b. Tríceps del brazo.
   c. Trapecio.
   d. Dorsal ancho.

Respuesta breve

9. ¿Cuál es la función principal de los músculos?

10. Compara los músculos esqueléticos, lisos y cardiacos con respecto a su anatomía microscópica, ubicación y disposición en los órganos corporales y a su función en el organismo.

11. ¿Qué dos tipos de tejido muscular son estriados?

12. ¿Por qué son importantes las envolturas de tejido conectivo de los músculos esqueléticos? Cita estas envolturas, comenzando por la más fina y terminando por la más gruesa.

13. ¿Cuál es la función de los tendones?

14. Define los siguientes términos: *unión neuromuscular, unidad motora, tétanos, respuesta gradual, respiración aeróbica, glucólisis anaeróbica, fatiga muscular, neurotransmisor.*

15. Describe lo que acontece desde el momento en que una neurona motora libera acetilcolina en la unión neuromuscular hasta que se produce la contracción de la célula muscular.

16. ¿En qué se diferencian las contracciones isotónicas e isométricas?

17. El tono muscular mantiene los músculos sanos. ¿Qué es el tono muscular y qué lo produce? ¿Qué le ocurre a un músculo que pierde el tono?

18. Un músculo esquelético está adherido a los huesos por dos puntos de anclaje. Cita cada uno de dichos puntos e indica cuál es móvil y cuál es inmóvil.

19. Cita los 12 movimientos que has estudiado en este capítulo y realízalos.

20. ¿En qué se diferencia un músculo principal de uno sinérgico? ¿En qué medida puede considerarse antagonista a un músculo principal?

21. Si estuvieras contrayendo y relajando de forma alternativa el músculo masetero, ¿qué estarías haciendo en realidad? Cita otros tres músculos de la cara y di dónde su ubican y cuál es su función.

22. Los músculos esternocleidomastoideos ayudan a flexionar el cuello. ¿Cuáles son sus antagonistas?

23. Cita dos músculos que revierten el movimiento del deltoides.

24. Cita el músculo principal de la flexión del codo. Nombra su antagonista.

25. Aparte de flexionar la espina dorsal y comprimir las vísceras, los músculos abdominales resultan muy importantes a la hora de proteger y contener las vísceras abdominales. ¿Qué característica tienen estos músculos que los hace tan adecuados para esta función?

26. Los grupos de músculos del cuádriceps e isquiotibiales son antagonistas entre sí, y cada grupo es un músculo principal por sí mismo. ¿Qué acción realiza cada grupo de músculos?

27. ¿Qué dos músculos de dos vientres componen la región de la pantorrilla de la pierna? ¿Cuál es su función?

28. ¿Qué les ocurre a los músculos cuando se ejercitan de forma regular, cuando se ejercitan de forma enérgica como al levantar pesas y cuando no se utilizan?

29. ¿Cómo afecta el envejecimiento a los músculos esqueléticos?

30. ¿Qué tipo de entrenamiento debería seguir un triatleta, aeróbico o de resistencia?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

31. Cita tres músculos o grupos de músculos que se utilizan para administrar inyecciones intramusculares. ¿Cuál se usa más a menudo en los bebés?

32. El médico aconsejó al señor Pérez perder peso y comenzar a hacer *footing*. Comenzó a hacerlo diariamente. Al sexto día, se vio obligado a saltar para apartarse de un coche que venía a toda velocidad. Escuchó un chasquido al que le siguió un dolor en la parte baja de la pantorrilla derecha. Se podía ver un espacio entre su hinchada pantorrilla y su talón, y era incapaz de hacer una flexión plantar con ese pie. ¿Qué crees que le ocurrió?

33. Mientras pintaba su casa, Sara se cayó de la escalera y se fracturó la clavícula derecha. Entre las medidas para el tratamiento que le prescribieron en la sala de emergencias se encontraba la utilización de un cabestrillo para el brazo derecho para inmovilizar la clavícula y acelerar su cura. ¿Qué músculos deja "fuera de combate" el cabestrillo temporalmente?

34. Cuando Enrique volvió de hacer *footing* respiraba con dificultad y sudaba mucho, y se quejaba de que le dolían las piernas y se sentía débil. Su mujer le dio una bebida energética y le dijo que se tranquilizara hasta que pudiera "recobrar el aliento". De acuerdo con lo que has aprendido acerca del metabolismo energético de los músculos, responde las siguientes preguntas:

    a. ¿Por qué está respirando Enrique de esa forma?

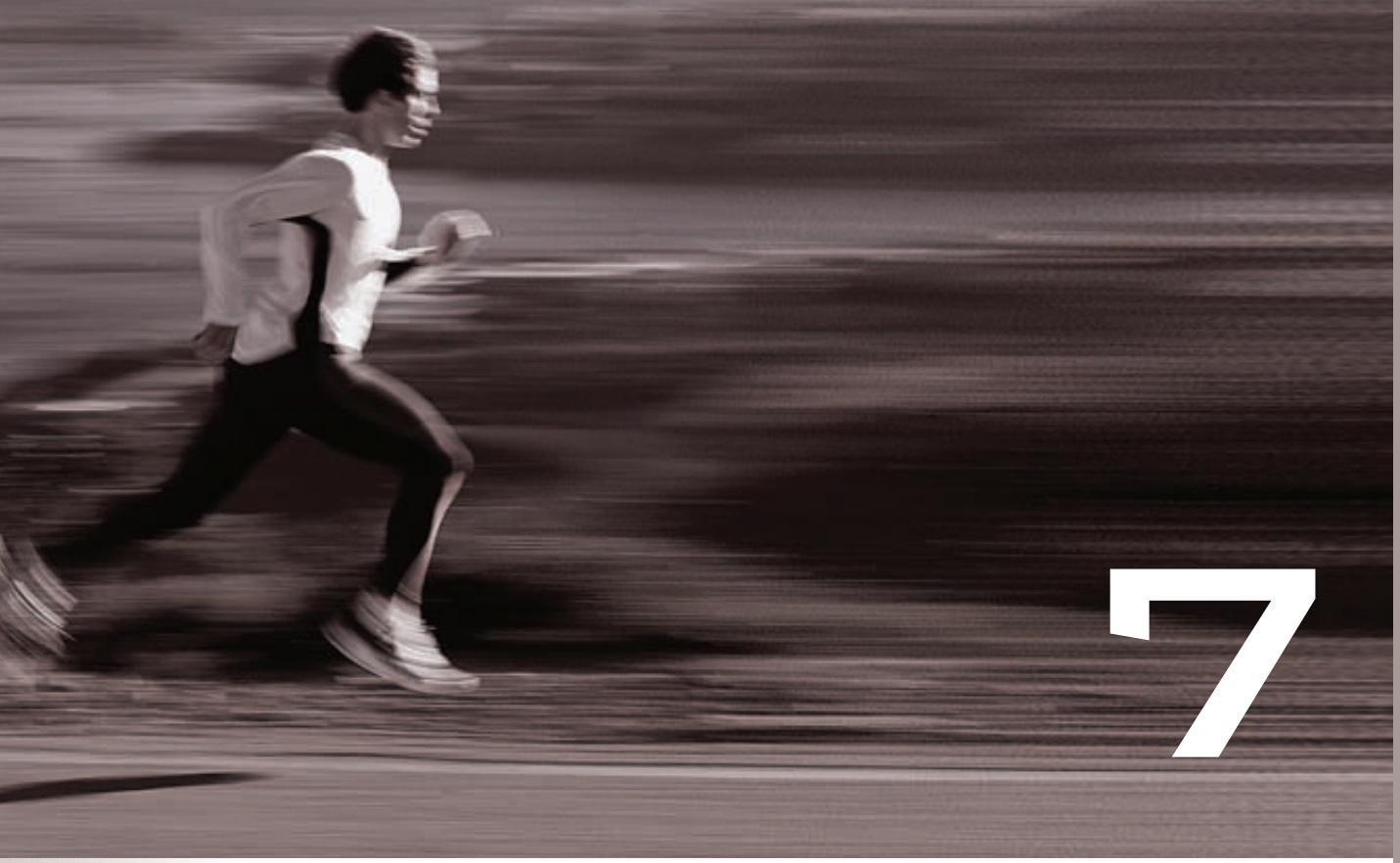
    b. ¿Qué forma de producción de ATP han estado utilizando sus músculos que le lleva a respirar de esa manera?

    c. ¿Qué productos metabólicos pueden ser responsables del dolor en los músculos y del sentimiento de debilidad?

35. La sustancia química A une y bloquea los receptores de acetilcolina de las células musculares. La sustancia química B inunda el citoplasma de las células musculares con iones de calcio. ¿Qué sustancia química sería el mejor relajante muscular y por qué?

36. Al señor Peláez le han operado del cólon. Ahora está experimentando debilidad sólo en los músculos de la parte derecha, el lugar en que se hizo la incisión a través de la musculatura abdominal. Por consiguiente, los músculos abdominales de la parte izquierda se contraen con mayor fuerza, lo que produce una flexión lateral de su torso. El señor Peláez necesita terapia física. ¿Qué curvatura anormal de la espina dorsal le surgirá si no se somete a la terapia? ¿Por qué?

37. Cuando una persona muere, se extiende el *rigor mortis* a medida que la síntesis de ATP cesa. Explica por qué la falta de ATP en las células musculares hace que los músculos se vuelvan rígidos en lugar de quedarse flojos tras la muerte.



CAPÍTULO 7

El sistema nervioso

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, conocerás las funciones del sistema nervioso y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- El sistema nervioso mantiene la homeostasis del organismo mediante señales eléctricas; es el responsable de la sensibilidad, las funciones mentales superiores y la respuesta emocional, y activa los músculos y las glándulas.

NUESTROS OBJETIVOS

Organización del sistema nervioso (págs. 229-230)

- Enumerar las funciones generales del sistema nervioso.
- Explicar la clasificación estructural y la funcional.
- Definir *sistema nervioso central* y *sistema nervioso periférico*, y nombrar sus principales componentes.

Tejido nervioso. Estructura y función (págs. 230-242)

Definir la función de las neuronas y de la neuroglía.

- Describir la estructura general de una neurona y nombrar sus regiones anatómicas más importantes.
- Describir la composición de la sustancia gris y la sustancia blanca.
- Enumerar las dos características funcionales más importantes de las neuronas.
- Clasificar a las neuronas según su estructura y función.

- Enumerar los distintos tipos de receptores sensitivos y describir sus funciones.
- Describir los pasos que conducen a la generación de un impulso eléctrico y su transmisión de una neurona a otra.
- Definir *arco reflejo* y enumerar sus elementos.

Sistema nervioso central **(págs. 242-258)**

- Identificar y señalar las funciones de las principales áreas de los hemisferios cerebrales, diencéfalo, tronco encefálico y cerebelo, en un modelo del encéfalo humano y en un dibujo.
- Citar las tres capas de las meninges y nombrar sus funciones.
- Analizar la formación y la función del líquido cefalorraquídeo y de la barrera hematoencefálica.
- Comparar los signos de un ACV con los de la enfermedad de Alzheimer y los de una contusión con aquéllos de una conmoción.
- Definir *EEG* y explicar cómo evalúa la función neuronal.
- Enumerar dos funciones importantes de la médula espinal.
- Describir la estructura de la médula espinal.

Sistema nervioso periférico **(págs. 258-270)**

- Describir la estructura general de un nervio.
- Identificar los pares craneales por número y nombre, y citar las funciones principales de cada uno.
- Describir el origen y la composición de (1) las raíces dorsales y ventrales, (2) el nervio espinal propiamente dicho y (3) los ramos dorsales y ventrales.
- Analizar la distribución de los ramos dorsales y ventrales de los nervios espinales.
- Nombrar los cuatro plexos nerviosos principales, los nervios más importantes de cada uno y describir su distribución.
- Identificar el lugar de origen y explicar la función de la división simpática y la parasimpática del sistema nervioso autónomo.
- Comparar los efectos del sistema simpático y parasimpático sobre los siguientes órganos: corazón, pulmones, sistema digestivo y vasos sanguíneos.

Formación y desarrollo del sistema nervioso **(págs. 272-275)**

- Enumerar varios factores que podrían resultar nocivos para el desarrollo del sistema nervioso.
- Describir brevemente las causas, signos y consecuencias de los siguientes trastornos congénitos: espina bífida, anencefalia y parálisis cerebral.
- Explicar la reducción del tamaño y del peso del cerebro que tiene lugar con la edad.
- Definir *senilidad* y enumerar algunas de sus posibles causas.

Conduciendo por la autopista suena una bocina atronadora a la derecha. Giramos bruscamente el volante a la izquierda. Charlie deja una nota en la mesa de la cocina: "Hasta luego. Ten eso listo a las 6". Sabes que "eso" se refiere a chili con tacos. Estamos echando una cabezada y el niño hace un ruidito. Nos despertamos inmediatamente. ¿Qué tienen en común todos estos acontecimientos? Todos ellos son ejemplos cotidianos del funcionamiento del sistema nervioso, que hace que las células del organismo bullan de actividad casi todo el tiempo.

El **sistema nervioso** es el amo del control y la comunicación del organismo. Cada pensamiento, acción o emoción es un reflejo de su actividad. Se comunica con las células del organismo mediante impulsos eléctricos, que son rápidos y específicos y generan respuestas casi instantáneas.

Para desempeñar su papel, el sistema nervioso cuenta con tres funciones que se solapan entre sí (Figura 7.1): (1) como un centinela, utiliza sus millones de receptores sensitivos para *observar los cambios* que tienen lugar tanto dentro como fuera del organismo. Estos

cambios se denominan *estímulos* y la información recogida se llama **aferencias sensitivas.** (2) *Procesa e interpreta* las aferencias y decide qué hacer en cada momento, proceso conocido como **integración.** (3) A continuación *emite una respuesta* activando músculos o glándulas (efectores) mediante las **eferencias motoras.** Un ejemplo ilustrativo de cómo actúan conjuntamente estas tres funciones: cuando estamos conduciendo y vemos un semáforo en rojo en nuestro camino (aferencia sensitiva), el sistema nervioso integra esta información (la luz roja significa "parar") y envía la respuesta motora a los músculos de la pierna y el pie derechos, de modo que el pie derecho se dirige al pedal del freno (la respuesta).

El sistema nervioso no trabaja solo para regular y mantener la homeostasis del organismo; el sistema endocrino es el siguiente sistema controlador en importancia. Mientras que el sistema nervioso funciona con rápidos impulsos eléctricos, los órganos del sistema endocrino producen hormonas que se secretan a la sangre. Por este motivo es característico del sistema endocrino que sus efectos tarden más en producirse.

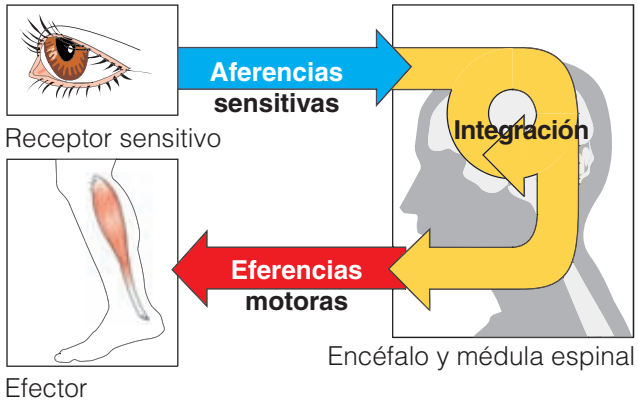


FIGURA 7.1 **Funciones del sistema nervioso.**

Organización del sistema nervioso

Sólo tenemos un sistema nervioso, pero es tan complejo que resulta difícil considerarlo en su conjunto. Así pues, para simplificar su estudio, se divide según la estructura (clasificación estructural) o la actividad (clasificación funcional). A continuación se reseñan brevemente estas dos clasificaciones, y sus relaciones se muestran en la Figura 7.2. No es necesario memorizar en este punto toda la clasificación, pero, a medida que se avance en la descripción, es importante "captar" las partes principales y cómo se relacionan entre sí. Esto hará que el aprendizaje posterior sea más sencillo, a medida que avance el capítulo. Más adelante se repetirán todos esos términos y conceptos más detalladamente.

Clasificación estructural

Desde el punto de vista estructural, todos los órganos del sistema nervioso se clasifican en dos grandes subdivisiones: el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico (véase la Figura 7.2).

El **sistema nervioso central (CNS)** está compuesto por el encéfalo y la médula espinal, que ocupan la cavidad dorsal del organismo y actúan como los centros de mando e integración del sistema nervioso. Interpretan la información sensitiva aferente y emiten instrucciones de acuerdo con las experiencias pasadas y las condiciones del momento.

El **sistema nervioso periférico (PNS)**, la parte del sistema nervioso fuera del CNS, está compuesto básicamente por los nervios que nacen del encéfalo y de la médula espinal. Los *nervios espinales* transportan impulsos desde y hacia la médula espinal. Los *pares craneales* transportan impulsos desde y hacia el encéfalo. Estos nervios son cables de comunicación que unen todas las partes del organismo transportando los impulsos desde los receptores sensitivos hasta el CNS y desde el CNS hasta las glándulas o los músculos efectores.

En las páginas posteriores de este capítulo se abordan en detalle los órganos que componen el CNS y el PNS.

Clasificación funcional

La clasificación funcional se ocupa tan sólo de las estructuras del PNS. Se clasifica en dos subdivisiones principales (véase la Figura 7.2).

La **división sensitiva** o **aferente** consiste en nervios (compuestos por fibras nerviosas) que transportan impulsos *hacia* el sistema nervioso central desde los receptores sensitivos situados en distintas partes del organismo. Las fibras sensitivas que transportan los impulsos de la piel, los músculos esqueléticos y las articulaciones se denominan *fibras sensitivas* (aferentes) *somáticas* (de *soma,* cuerpo), y las fibras que transmiten impulsos de las vísceras se denominan *fibras sensitivas viscerales* o *aferentes viscerales.* La división sensitiva mantiene al CNS continuamente informado de todo lo que sucede dentro y fuera del organismo.

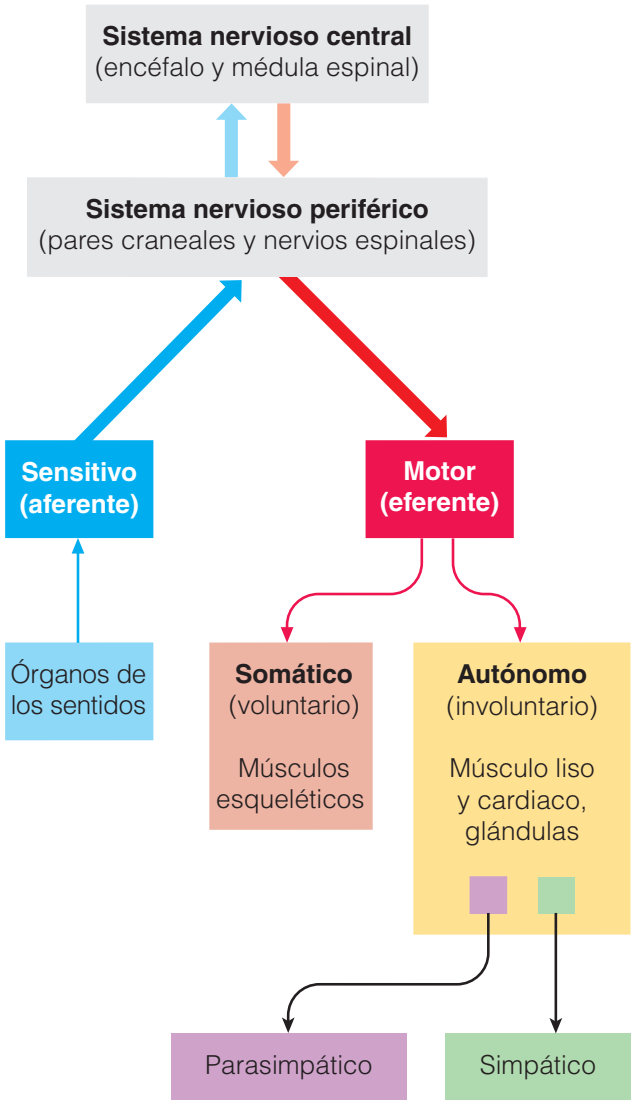


FIGURA 7.2 Organización del sistema nervioso. Organigrama que muestra cómo el sistema nervioso central recibe información mediante las fibras sensitivas y da órdenes mediante las fibras motoras. Las fibras sensitivas y motoras, juntas, forman los nervios que constituyen el sistema nervioso periférico.

La **división motora** o **eferente** transporta los impulsos *desde* el CNS hasta los órganos efectores: músculos y glándulas. Estos impulsos activan los músculos y las glándulas, es decir, *efectúan* (provocan) una respuesta motora.

La división motora se subdivide a su vez en dos partes (véase la Figura 7.2):

1. El **sistema nervioso somático** nos permite controlar conscientemente (o voluntariamente) los músculos esqueléticos. Por ello, a esta subdivisión se la suele denominar **sistema nervioso voluntario.** Sin embargo, no toda la actividad muscular controlada por esta división motora es voluntaria. Los reflejos de los músculos esqueléticos, como el reflejo de retirada por ejemplo, se ponen en marcha automáticamente por parte de esas mismas fibras.
2. El **sistema nervioso autónomo (ANS)** regula funciones automáticas o involuntarias, como la actividad del músculo liso y cardiaco y de las glándulas. Esta subdivisión, denominada habitualmente **sistema nervioso involuntario,** se compone a su vez de dos partes, el *simpático* y el *parasimpático*, que característicamente provocan efectos contrarios. Lo que uno estimula, el otro lo inhibe. Se describirán más adelante.

Aunque resulte más sencillo estudiar el sistema nervioso en función de sus subdivisiones, hay que tener en cuenta que estas subdivisiones sólo se establecen por conveniencia. Es importante recordar que el sistema nervioso actúa como una unidad coordinada, tanto estructural como funcionalmente.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. Nombra los componentes del CNS y los del PNS.

Véase la respuesta en el Apéndice D.

Tejido nervioso. Estructura y función

Aunque es complejo, el tejido nervioso está compuesto básicamente por dos tipos de células: las *células de soporte* y las *neuronas*.

Células de soporte

A las células de soporte del CNS se las aúna bajo el nombre de **neuroglía** (literalmente, "pegamento nervioso"). La neuroglía incluye muchos tipos de células, que generalmente sirven de soporte, aislamiento y protección a las delicadas neuronas (Figura 7.3). Además, cada uno de los tipos de neuroglía, denominados también simplemente **glías,** o *células gliales,* posee otras funciones especiales. La neuroglía del CNS incluye las siguientes células:

- **Astrocitos:** células estrelladas muy abundantes, responsables de aproximadamente la mitad del tejido nervioso. Sus numerosas prolongaciones tienen extremos engrosados que se adhieren a las

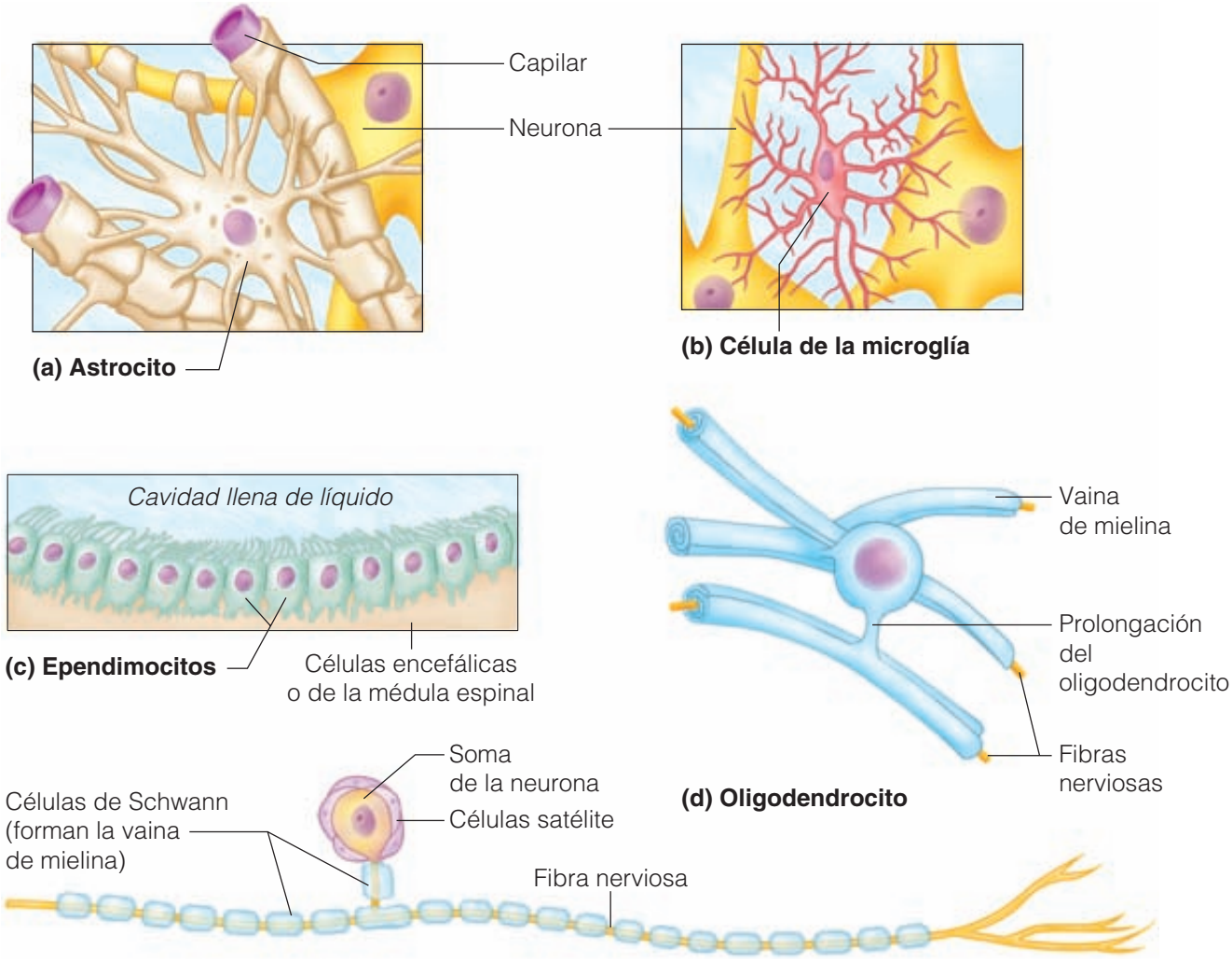


FIGURA 7.3 Células de soporte (gliales) del tejido nervioso.
Los astrocitos **(a)** forman una barrera viviente entre las neuronas y los capilares del CNS. Las células de la microglía **(b)** son fagocitos, mientras que los ependimocitos **(c)** revisten las cavidades llenas de líquido del CNS. Los oligodendrocitos **(d)** forman las vainas de mielina alrededor de las fibras nerviosas en el CNS. **(e)** Posición de las células de Schwann (células mielinizadoras) y las células satélite con respecto a una neurona en el sistema nervioso periférico.

neuronas, rodeándolas y anclándolas a los cables (capilares sanguíneos) que les proporcionan los nutrientes (Figura 7.3a). Los astrocitos forman una barrera activa entre los capilares y las neuronas, e intervienen en el intercambio entre ambos. De este modo, ayudan a proteger las neuronas de las sustancias dañinas que puedan estar en la sangre. Los astrocitos también ayudan a controlar el medio químico del encéfalo "limpiándolo" de los iones de potasio presentes y recapturando los neurotransmisores liberados.

- **Microglía:** fagocitos en forma de araña que se deshacen de los residuos, tales como células encefálicas muertas y bacterias (Figura 7.3b).
- **Ependimocitos:** estas células de la neuroglía revisten las cavidades centrales del encéfalo y la médula espinal (Figura 7.3c). El movimiento de sus cilios ayuda a circular al líquido cefalorraquídeo

que ocupa esas cavidades y que sirve de colchón protector al CNS.

- **Oligodendrocitos:** células de la neuroglía cuyas prolongaciones aplanadas se enrollan estrechamente alrededor de las prolongaciones neuronales, produciendo unas cubiertas grasas de aislamiento denominadas *vainas de mielina* (Figura 7.3d).

Aunque las células de la neuroglía se parecen estructuralmente a las neuronas (ambas tienen prolongaciones), no pueden transmitir impulsos nerviosos, una función muy desarrollada en las neuronas. Otra diferencia importante es que la neuroglía nunca pierde la capacidad de dividirse, mientras que la mayoría de las neuronas sí lo hacen. En consecuencia, la mayoría de los tumores encefálicos son *gliomas,* tumores formados por células de la neuroglía.

Las células de soporte del PNS son básicamente de dos tipos: células de Schwann y células satélite (Figura 7.3e). Las **células de Schwann** forman las vainas de mielina alrededor de las fibras nerviosas del PNS. Las **células satélite** son células protectoras y amortiguadoras.

¿LO HAS ENTENDIDO?

2. ¿Cuáles son las células de la neuroglía más abundantes en el organismo? ¿Cuáles producen el material aislante denominado mielina?
3. ¿Por qué los tumores cerebrales suelen estar formados por células de la neuroglía en vez de por neuronas?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Neuronas

Anatomía

Las **neuronas** o **células nerviosas** están muy especializadas en la transmisión de mensajes (impulsos nerviosos) de una parte del organismo a otra. Aunque hay notables diferencias estructurales entre los distintos tipos de neuronas, muchas características son comunes a todas ellas (Figura 7.4). Todas tienen un cuerpo o soma, que contiene el núcleo y es el centro metabólico de la célula, y una o más prolongaciones alargadas que parten del soma.

Soma El **soma** es el centro metabólico de la neurona. El núcleo, transparente, contiene un nucleolo prominente. El citoplasma que rodea al núcleo contiene todas las organelas habituales, excepto centriolos (lo que confirma la naturaleza amitótica de la mayoría de las neuronas). El retículo endoplasmático rugoso, denominado **sustancia de Nissl,** y las **neurofibrillas** (filamentos intermedios importantes para el mantenimiento de la forma celular) son especialmente abundantes en el soma.

Prolongaciones Las **prolongaciones** o **fibras,** en forma de brazos, tienen una longitud variable, desde microscópicas hasta poco más de 1 metro. Las más largas del cuerpo humano se extienden desde la región lumbar de la columna hasta el dedo gordo del pie. Las **dendritas** son las prolongaciones neuronales que transportan los mensajes entrantes (señales eléctricas) *hacia* el soma, y los **axones** son los que generan los impulsos nerviosos y los conducen *desde* el soma. Las neuronas pueden tener cientos de dendritas, como ramas (de *dendron*, árbol), según el tipo de neurona, pero una neurona sólo tiene un único axón, que nace de una región con forma cónica situada en el soma, denominada cono **axónico.**

De algunos axones se desprenden *ramas colaterales* a lo largo de su recorrido, pero todos los axones presentan múltiples ramificaciones en su extremo final, formando cientos o miles de **terminales axónicas.** Estas terminales contienen cientos de minúsculas vesículas, o sacos membranosos, que contienen sustancias químicas denominadas **neurotransmisores.** Como se señaló anteriormente, los axones transmiten los impulsos nerviosos desde el soma. Cuando estos impulsos alcanzan las terminales axónicas, estimulan la liberación de los neurotransmisores al espacio extracelular.

Cada terminal axónica está separada de la siguiente neurona por un minúsculo espacio denominado **hendidura sináptica.** Este tipo de unión funcional se llama **sinapsis** (de *syn*, abrazar o unir). Aunque están muy cerca, las neuronas nunca llegan a tocar a otras neuronas. Más adelante se explicarán las sinapsis y sus funciones.

Vainas de mielina La mayoría de las fibras nerviosas largas están cubiertas por un material blanquecino y graso llamado **mielina,** de aspecto similar a la cera. La mielina protege y aísla las fibras y aumenta la velocidad de transmisión de los impulsos nerviosos. Los axones, fuera del CNS, están mielinizados por las células de Schwann, como se señaló anteriormente. Estas células se envuelven alrededor del axón como en un pastel relleno de mermelada (Figura 7.5). Inicialmente su membrana forma espirales laxas, pero el citoplasma de la célula de Schwann se comprime gradualmente entre las capas de la membrana. Una vez finalizado el proceso, una espiral apretada de membranas superpuestas (**vaina de mielina**) rodea al axón. La mayoría del citoplasma de la célula de Schwann termina situándose por debajo de la porción más externa de la membrana plasmática. Esta parte de la célula de Schwann, por fuera de la vaina de mie-

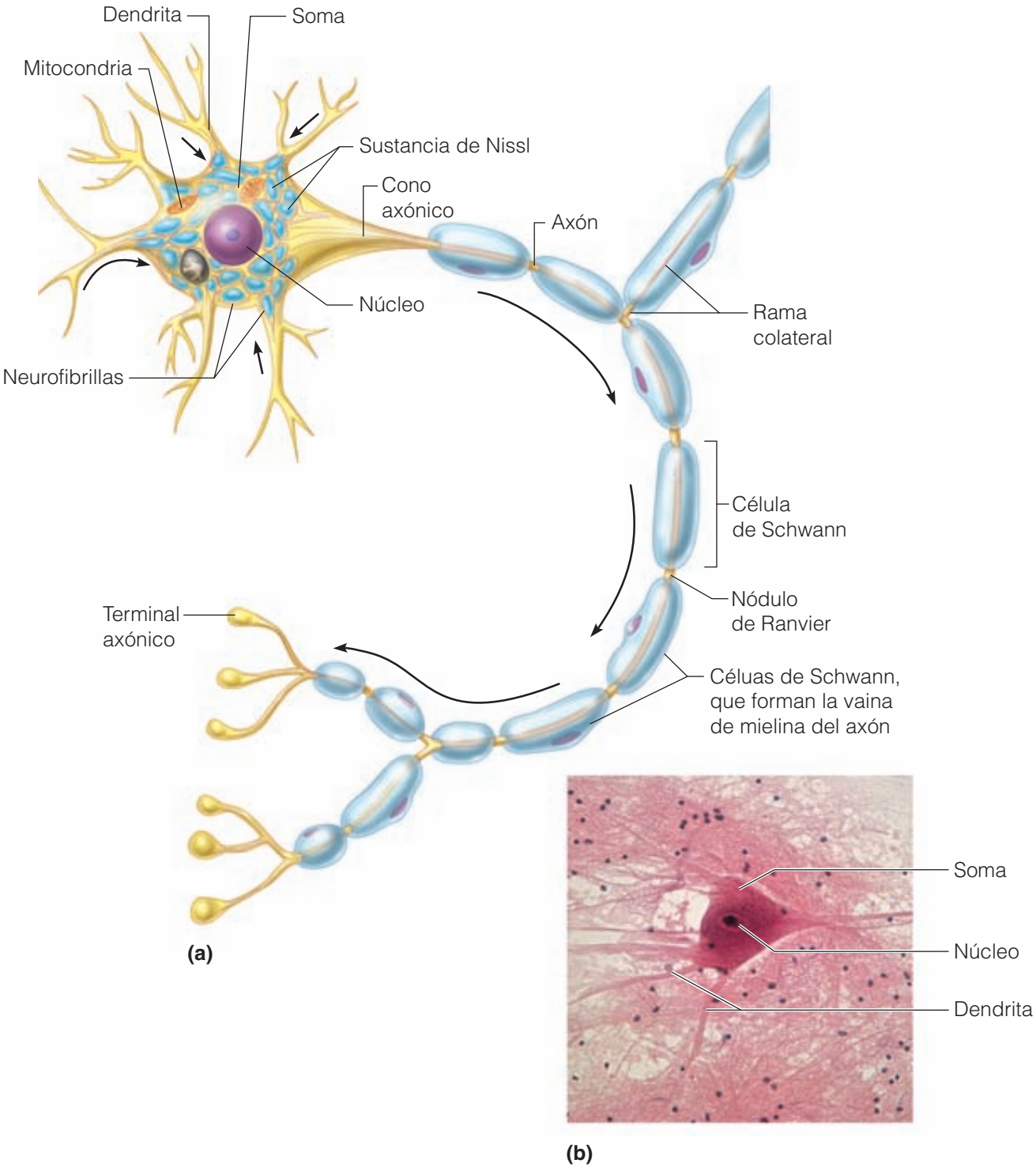


FIGURA 7.4 Estructura de una neurona motora.
(a) Dibujo. **(b)** Microfotografía (200 aumentos).

P *¿Por qué la vaina de mielina producida por las células de Schwann no es continua?*

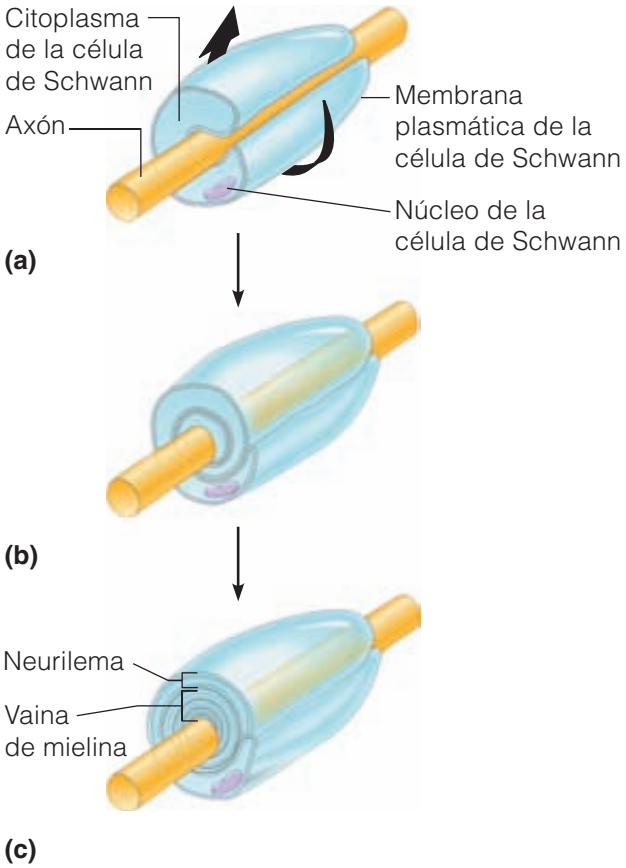


FIGURA 7.5 Relación de las células de Schwann con los axones en el sistema periférico. (a-c) Como muestra el dibujo (de arriba abajo), una célula de Schwann forma una depresión y así envuelve parte de un axón; a continuación gira alrededor del axón. La mayor parte del citoplasma de la célula de Schwann se queda inmediatamente por debajo de la parte expuesta de la membrana plasmática. La apretada espiral formada por material de la membrana plasmática es la vaina de mielina. El *neurilema* está compuesto por el citoplasma de la célula de Schwann y la membrana que queda al descubierto.

lina, se denomina **neurilema** ("cáscara neuronal"). Como la vaina de mielina está formada por muchas células de Schwann, tiene huecos o mellas, llamados **nódulos de Ranvier,** a intervalos regulares (véase la Figura 7.4).

R *Porque la vaina está producida por varias células de Schwann, dispuestas de un extremo a otro a lo largo de toda la fibra nerviosa; cada célula de Schwann sólo forma un minúsculo segmento de la vaina.*

En el sistema nervioso central también se encuentran fibras mielínicas. Sin embargo, son los oligodendrocitos los que forman las vainas de mielina en el CNS (véase la Figura 7.3d). Al contrario de lo que sucede con las células de Schwann, que cada una de ellas deposita mielina alrededor de un pequeño segmento de una fibra nerviosa, los oligodendrocitos, con sus múltiples prolongaciones aplanadas, pueden enrollarse alrededor hasta de 60 fibras distintas a la vez. Aunque las vainas de mielina formadas por los oligodendrocitos son similares a las producidas por las células de Schwann, las vainas del CNS carecen de neurilema. Como el neurilema resulta escasamente afectado cuando se lesiona una fibra nerviosa periférica, desempeña un papel importante en la regeneración de la fibra, una capacidad perdida en gran parte en el sistema nervioso central.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La importancia del aislamiento de mielina para la transmisión nerviosa se explica mejor observando lo que sucede cuando falta. En las personas con esclerosis múltiple las vainas de mielina alrededor de las fibras se deterioran gradualmente, convirtiéndose en vainas endurecidas llamadas *esclerosis*. Cuando esto sucede, se producen cortocircuitos en la corriente eléctrica. La persona afectada puede sufrir alteraciones de la vista y el habla, perder la capacidad de controlar sus músculos y convertirse progresivamente en un inválido. La esclerosis múltiple es una enfermedad autoinmunitaria que ataca a una proteína de la vaina. Aún no existe cura, pero las inyecciones de interferón (una sustancia parecida a las hormonas y liberada por algunas células inmunitarias), pueden impedir la progresión de los síntomas y lograr cierta mejoría. ▲

Terminología Las agrupaciones de somas neuronales y de fibras nerviosas se llaman de diferente manera en el CNS y en el PNS. En su mayoría, los somas se encuentran en el CNS en conjuntos llamados **núcleos.** Esta localización, bien protegida dentro de los huesos del cráneo o de la columna vertebral, es esencial para el bienestar del sistema nervioso (hay que recordar que las neuronas no suelen tener divisiones celulares después del nacimiento). El soma lleva a cabo la mayoría de las funciones metabólicas de la neurona, de modo que si resulta dañado, la célula muere y no es reemplazada. Fuera del CNS se encuentran pequeñas agrupaciones de somas, denominadas **ganglios,** en unas pocas zonas del PNS.

Los conjuntos de fibras nerviosas (prolongaciones neuronales) que se extienden por el CNS se denominan **haces** (o tractos), mientras que en el PNS se llaman **nervios.** Los términos *sustancia blanca* y *sustancia gris* hacen referencia a las regiones mielinizadas y a las no

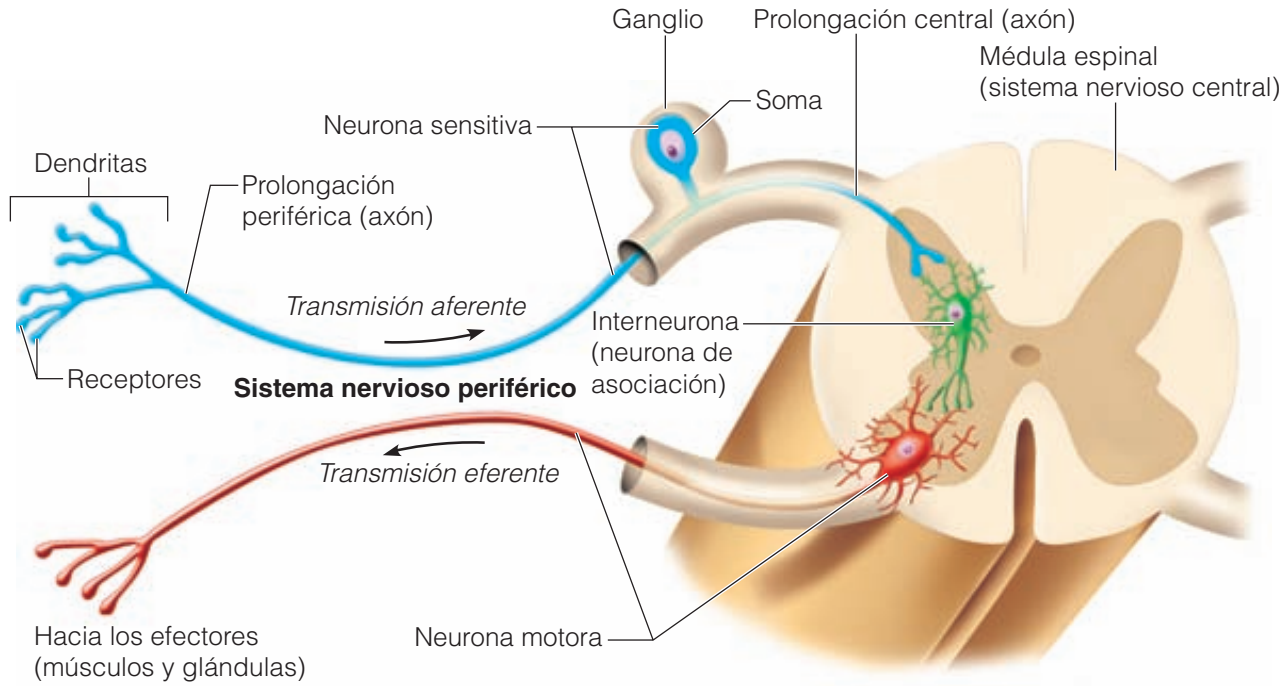


FIGURA 7.6 Neuronas, clasificadas según su función. Las neuronas sensitivas (aferentes) conducen los impulsos desde los receptores sensitivos (de la piel, las vísceras y los músculos) hasta el sistema nervioso central; la mayoría de los somas están en ganglios del PNS. Las neuronas motoras (eferentes) transmiten los impulsos desde el CNS (encéfalo o médula espinal) hasta los efectores del organismo. Las interneuronas (neuronas de asociación) actúan como vía de comunicación entre las neuronas sensitivas y las motoras; sus somas están en el CNS.

mielinizadas del CNS, respectivamente. Como norma general, la **sustancia blanca** está compuesta de densas agrupaciones de fibras mielinizadas (haces) y la **sustancia gris** contiene mayoritariamente fibras amielínicas y somas.

Clasificación

Las neuronas se pueden clasificar según su función o según su estructura.

Clasificación funcional Esta clasificación agrupa a las neuronas según la dirección en la que viaja el impulso nervioso con respecto al CNS. Según este principio, las neuronas se dividen en sensitivas, motoras y de asociación (interneuronas) (Figura 7.6). Las neuronas que transportan impulsos desde los receptores sensitivos (en los órganos internos o la piel) hasta el CNS son **neuronas sensitivas** o **aferentes** (*aferente* significa, literalmente, "ir hacia"). Los somas de las neuronas sensitivas siempre están situados en un ganglio fuera del CNS. Las neuronas sensitivas informan continuamente acerca de lo que sucede fuera y dentro del organismo.

Las terminaciones dendríticas de las neuronas sensitivas están asociadas generalmente a **receptores** especializados que se activan por cambios específicos que suceden en las inmediaciones. Los complejísimos receptores de los órganos de los sentidos especiales (vista, oído, equilibrio, gusto y olfato) se estudian individualmente en el Capítulo 8. Los tipos de receptores sensitivos más sencillos presentes en la piel (**órganos sensitivos cutáneos**) y en los músculos y tendones (**propioceptores**) se muestran en las Figuras 4.4 y 7.7. Los receptores del dolor (realmente simples terminaciones nerviosas) son los menos especializados de todos los receptores cutáneos. También son los más numerosos, porque el dolor avisa de que se está produciendo o se va a producir un daño al organismo. Sin embargo, la estimulación intensa de cualquier receptor cutáneo (por ejemplo, por calor abrasador, frío extremo o una presión excesiva) también se interpreta como dolor.

Los propiorreceptores detectan cuánto estiramiento, o tensión, está presente en los músculos esqueléticos, en sus tendones y en las articulaciones. Envían esta información al encéfalo de modo que éste pueda realizar

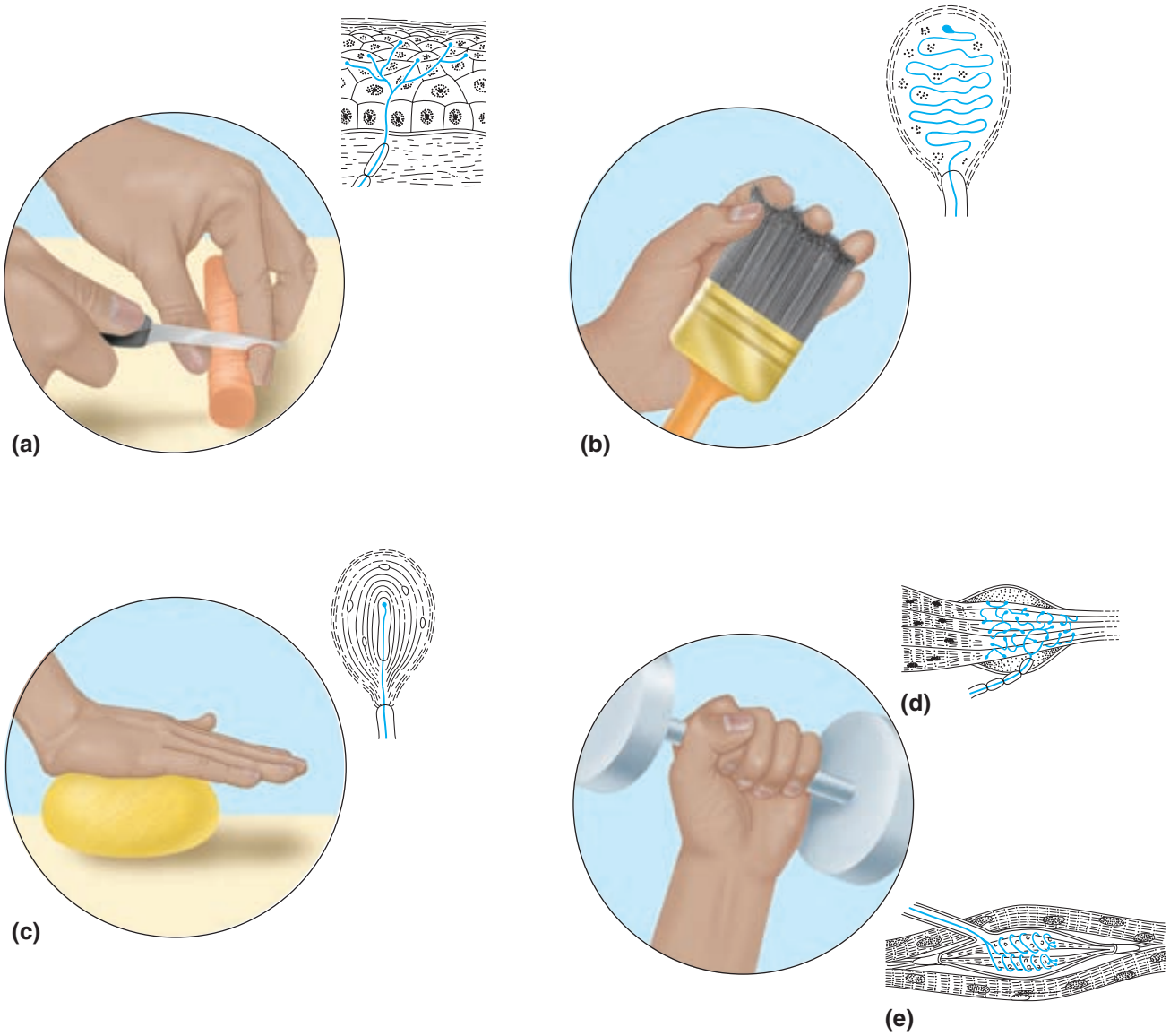


FIGURA 7.7 **Tipos de receptores sensitivos. (a)** Terminales nerviosos desnudos (receptores del dolor y la temperatura). **(b)** Corpúsculo de Meissner (receptor del tacto). **(c)** Corpúsculo de Pacini (receptor de presión profunda). **(d)** Órgano de Golgi de un tendón (propiorreceptor). **(e)** Huso muscular (propiorreceptor).

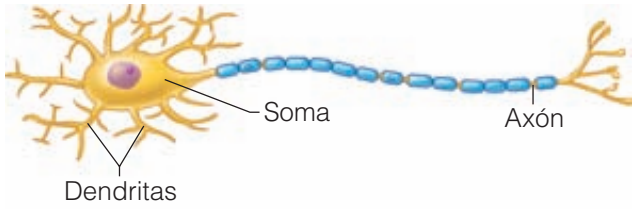
los ajustes adecuados para mantener el equilibrio y la postura normal. El término *propria* proviene de la palabra latina que significa "propio, de uno mismo" y los propiorreceptores informan constantemente al encéfalo acerca de los movimientos del propio organismo.

Las neuronas que transportan impulsos desde el CNS hasta las vísceras, músculos y glándulas son **neuronas motoras** o **eferentes** (véase la Figura 7.6). Los somas de las neuronas motoras siempre están situados en el CNS.

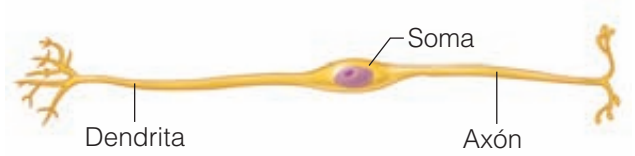
El tercer tipo de neuronas se denomina **interneuronas** o **neuronas de asociación.** Conectan las neuronas motoras y las sensitivas en las vías nerviosas. Al igual que las neuronas motoras, sus somas siempre están situados en el CNS.

Clasificación estructural La clasificación estructural se basa en el número de prolongaciones del soma (Figura 7.8). Si hay varias, la neurona es una **neurona multipolar.** Como todas las neuronas motoras y las de aso-

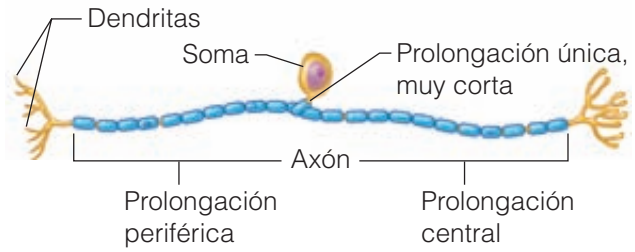
ciación son multipolares, éste es el tipo estructural más frecuente. Las neuronas con dos prolongaciones (un axón y una dendrita) se denominan **neuronas bipolares.** Las neuronas bipolares son infrecuentes en los adultos, sólo se encuentran en algunos órganos de los sentidos especiales (ojo, nariz), en los que participan en el procesamiento sensitivo como células receptoras. Las **neuronas unipolares** tienen una única prolongación, que emerge del soma. Sin embargo, la prolongación es muy corta y se divide casi inmediatamente en una prolongación proximal (central) y otra distal (periférica). Las neuronas unipolares son únicas en que sólo las pequeñas ramas al final de la prolongación periférica se comportan como dendritas. El resto de la prolongación periférica y la prolongación central funcionan como axones; así, en este caso, el axón conduce los impulsos nerviosos hacia el soma *y* desde el soma. Las neuronas sensitivas presentes en los ganglios del PNS son unipolares.



(a) Neurona multipolar



(b) Neurona bipolar



(c) Neurona unipolar

FIGURA 7.8 Clasificación de las neuronas según su estructura. (a) Multipolar. **(b)** Bipolar. **(c)** Unipolar.

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. ¿Cuál es la diferencia entre un haz y un nervio?
5. ¿Cuál es la diferencia entre un ganglio y un núcleo?
6. ¿Qué parte de la neurona conduce los impulsos hacia el soma? ¿Qué parte libera neurotransmisores?
7. El profesor dice que una neurona transmite un impulso nervioso con una velocidad de 1 metro por segundo y que otra neurona transporta los impulsos con una velocidad de 40 metros por segundo. ¿Qué neurona tiene un axón mielínico?

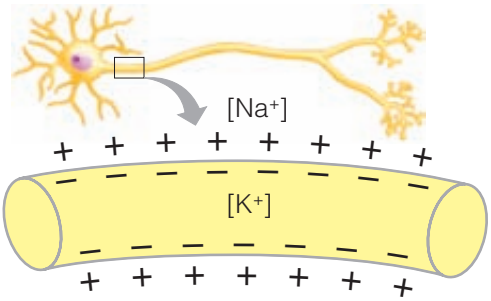
Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Fisiología

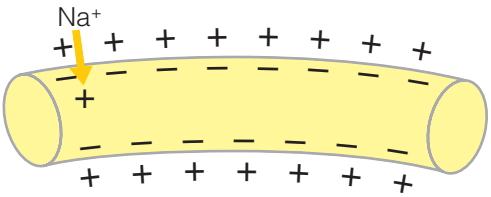
Impulsos nerviosos Las neuronas poseen dos propiedades funcionales principales: *excitabilidad*, capacidad de responder a un estímulo y convertirlo en un impulso nervioso, y *conductividad*, capacidad de transmitir el impulso a otras neuronas, músculos o glándulas. Estas funciones se estudian a continuación.

Propiedades eléctricas de la membrana neuronal en reposo La membrana plasmática de una neurona en reposo, o inactiva, está **polarizada,** lo que significa que hay menos iones positivos en la cara interna de la membrana plasmática neuronal que en la cara externa (Figura 7.9). Los principales iones positivos del interior de la célula son iones de potasio (K^+), mientras que los de fuera de la célula son iones de sodio (Na^+). La neurona permanece inactiva siempre que su interior sea más negativo que el exterior.

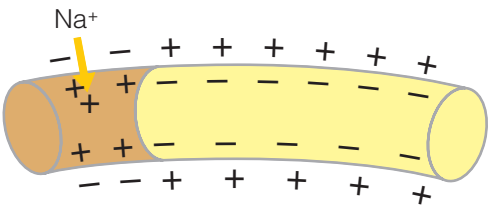
Inicio y generación de un potencial de acción Las neuronas responden a múltiples tipos de estímulos activándose y generando un impulso. Por ejemplo, la luz estimula los receptores del ojo, el sonido estimula algunos receptores del oído y la presión estimula algunos receptores cutáneos de la piel. No obstante, la *mayoría* de las neuronas del organismo se estimulan por los neurotransmisores liberados por otras neuronas, como se describirá a continuación. Independientemente del tipo de estímulo, el resultado siempre es el mismo: la permeabilidad de la membrana plasmática celular cambia durante un tiempo muy breve. *Habitualmente*, los iones de sodio no pueden difundir a través de la membrana plasmática en una cantidad significativa, pero cuando se estimula adecuadamente a la neurona, se abren las "compuertas" de los canales de sodio de la membrana. Como la concentración de sodio es mucho mayor fuera de la célula, se difundirá rápidamente al interior de la



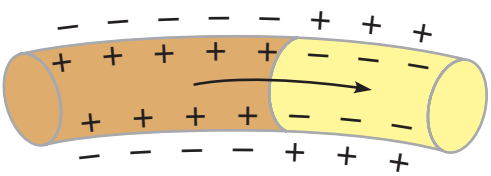
(a) Condiciones eléctricas de la membrana en reposo. La cara externa de la membrana es ligeramente positiva, la cara interna es ligeramente negativa. El principal ión extracelular es el sodio (Na^+), mientras que el principal ión intracelular es el potasio (K^+). La membrana es relativamente impermeable a ambos iones.



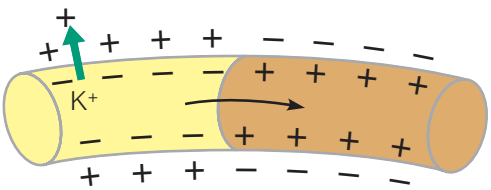
(b) Un estímulo inicia la despolarización local. Un estímulo cambia la permeabilidad de un "trozo" de la membrana, y los iones de sodio se difunden rápidamente dentro de la célula. Esto cambia la polaridad de la membrana (el interior se hace más positivo; el exterior, más negativo) en ese lugar.



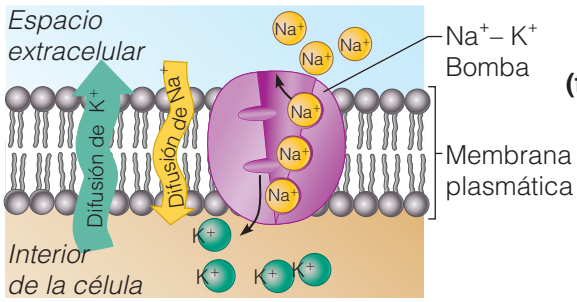
(c) Despolarización y generación de un potencial de acción. Si el estímulo es lo suficientemente intenso, la despolarización revierte por completo la polaridad de la membrana y se genera un potencial de acción.



(d) Propagación del potencial de acción. La despolarización del primer fragmento de la membrana provoca un cambio de polaridad en la membrana adyacente y se repiten los acontecimientos descritos en (b). Así, el potencial de acción se propaga rápidamente por toda la membrana.



(e) Repolarización. Los iones de potasio salen de la célula al mismo tiempo que la permeabilidad de la membrana cambia de nuevo, volviendo a la carga negativa en el interior de la membrana y la positiva en la superficie externa. La repolarización tiene lugar en la misma dirección que la despolarización.



(f) Restablecimiento de las concentraciones iónicas iniciales. Las concentraciones iónicas propias del estado de reposo se restablecen gracias a la bomba sodio-potasio. La bomba expulsa tres iones de sodio por cada dos iones de potasio transportados al interior de la célula.

FIGURA 7.9 **El impulso nervioso.**

neurona (¿Recuerdas las leyes de la difusión?). Esta entrada masiva de iones de sodio cambia la polaridad de la membrana neuronal en ese lugar, lo cual se denomina **despolarización.** Localmente, el interior es ahora más positivo, y el exterior es menos positivo, situación denominada **potencial graduado.** Sin embargo, si el estímulo es lo suficientemente potente y la entrada de sodio a la célula lo suficientemente grande, la *despolarización local* (el potencial graduado) activa la neurona para iniciar y transmitir una señal a larga distancia, denominada **potencial de acción,** también llamado **impulso nervioso** en las neuronas. El impulso nervioso es una *respuesta todo o nada*, como el disparo de un arma. O bien se propaga (conduce) por todo el axón, o no se produce. El impulso nervioso nunca llega tan sólo a una parte de todo el axón, ni se extingue con la distancia como sucede con los potenciales graduados.

Casi inmediatamente después de que los iones de sodio entren en la neurona, la permeabilidad de la membrana vuelve a cambiar, haciéndose impermeable a los iones de sodio pero permeable a los iones de potasio. Así pues, permite que los iones de potasio se difundan al exterior de la neurona, al fluido tisular, y esto sucede muy rápido. Esta salida de iones positivos de la célula restablece las características eléctricas de la membrana, que vuelve al estado de reposo (polarizado), hecho conocido como **repolarización.** *Una neurona no puede conducir otro impulso hasta que tiene lugar la repolarización.* Una vez que se ha producido la repolarización, se restablecen las concentraciones iniciales de los iones de sodio y potasio mediante la activación de la bomba sodio-potasio. Esta bomba utiliza el ATP (energía celular) para bombear los iones de sodio en exceso fuera de la célula y transportar a su interior de nuevo los iones de potasio. En cuanto esta secuencia de hechos empieza, se extiende por toda la membrana neuronal.

Los acontecimientos descritos explican la propagación del impulso nervioso en las fibras amielínicas. Las fibras que tienen vainas de mielina conducen los impulsos mucho más rápido porque el impulso nervioso, literalmente, salta o brinca de nódulo a nódulo por toda la fibra. Esto sucede porque la corriente eléctrica no puede fluir por la membrana axónica allá donde ésta posee un aislamiento graso de mielina. Este tipo de propagación del impulso eléctrico, más rápida, se denomina *conducción saltatoria* (de *saltare,* saltar o brincar).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La conducción de impulsos puede verse alterada por distintos factores. Por ejemplo, los sedantes y anestésicos bloquean los impulsos nerviosos alterando la permeabilidad de la membrana para los iones, principalmente para los iones de sodio. Como se ha visto, sin entrada de sodio no hay potencial de acción.

El frío y la presión continua entorpecen la conducción de los impulsos porque interrumpen la circulación sanguínea (y por lo tanto, el aporte de oxígeno y nutrientes) de las neuronas. Por ejemplo, los dedos se quedan insensibles cuando sostienen un cubito de hielo durante unos segundos. Del mismo modo, un pie "se queda dormido" al sentarse sobre él. Cuando se calientan los dedos o se elimina la presión del pie, los impulsos empiezan a transmitirse de nuevo, provocando una desagradable sensación de hormigueo. ▲

Transmisión de la señal en las sinapsis Hasta ahora sólo se ha explicado la excitabilidad del funcionamiento neuronal. Falta el aspecto de la conductividad: el impulso eléctrico, que viaja a lo largo de una neurona, ¿cómo atraviesa la sinapsis para llegar a la siguiente neurona (o célula efectora) y así modificar su actividad? La respuesta es que el *impulso* no hace esto. Cuando el potencial de acción alcanza un terminal axónico, las minúsculas vesículas que contienen las sustancias neurotransmisoras se fusionan con la membrana axónica, haciendo que se formen unas aperturas (como poros) y liberando así el neurotransmisor. Las moléculas del neurotransmisor se difunden en la sinapsis* y se unen a los receptores de la membrana de la siguiente neurona (Figura 7.10). Si el neurotransmisor liberado alcanza una cantidad suficiente, se pondrán en marcha todos los acontecimientos descritos anteriormente (entrada de sodio, despolarización, etc.), provocando la generación de un impulso nervioso en la segunda neurona de la sinapsis. Los cambios eléctricos causados por la unión del neurotransmisor son muy breves porque el neurotransmisor se elimina rápidamente de la sinapsis, bien por recaptación al terminal axónico o por degradación enzimática. Esto limita el efecto de cada impulso nervioso a un periodo de tiempo más corto que un parpadeo.

Es importante tener en cuenta que la transmisión de un impulso es un *proceso electroquímico*. La transmisión a lo largo de la membrana neuronal es básicamente *eléctrica*, pero la siguiente neurona es estimulada por un neurotransmisor, que es una sustancia *química*. Como cada neurona recibe y envía señales a múltiples neuronas, "conversa" con muchas otras neuronas al mismo tiempo.

*Aunque la mayoría de las neuronas se comunican mediante sinapsis de tipo *químico* descritas anteriormente, hay varios ejemplos de sinapsis *eléctricas* en las que las neuronas están unidas físicamente mediante conexiones comunicantes y la corriente eléctrica circula realmente de una neurona a otra.

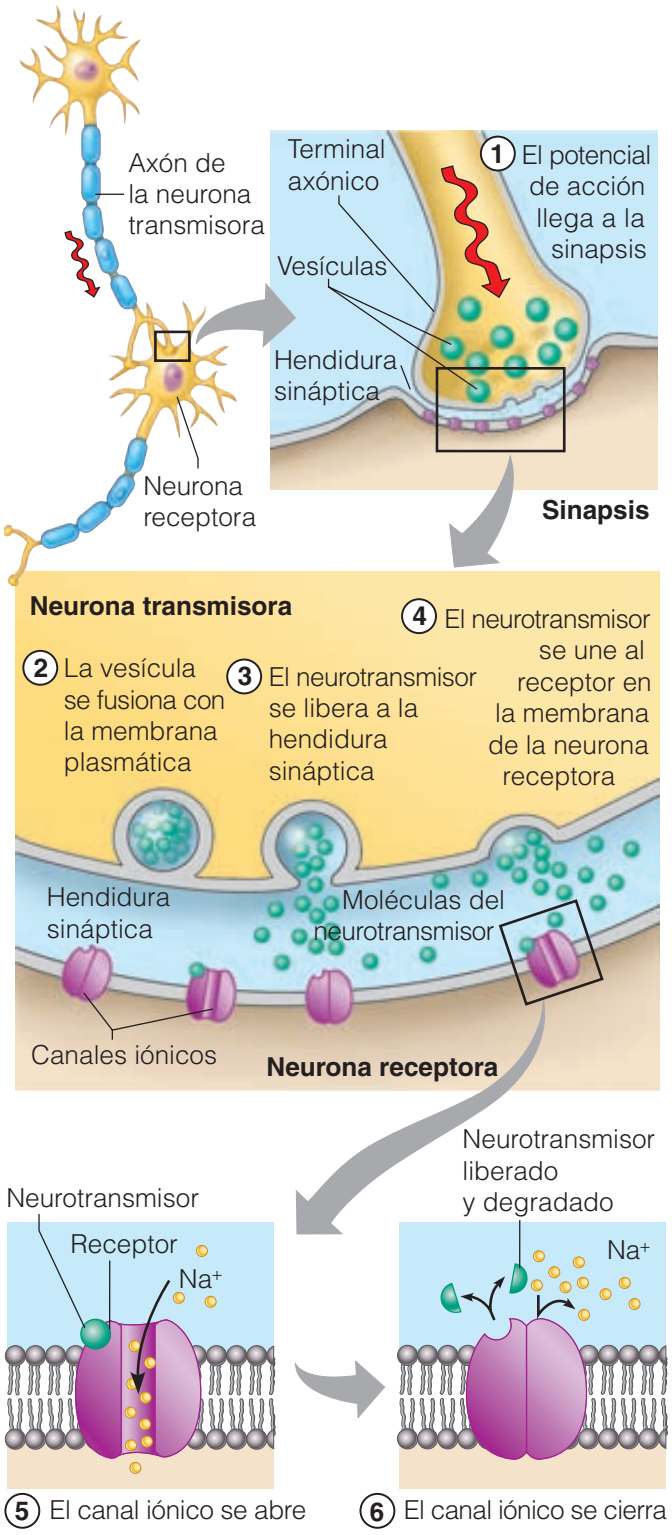


FIGURA 7.10 Comunicación entre neuronas en las sinapsis químicas. Los acontecimientos que tienen lugar en la sinapsis están numerados en orden.

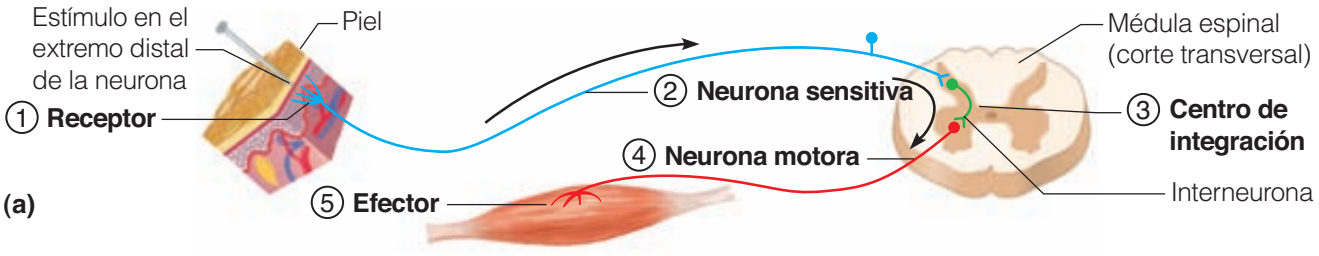
Reflejos Aunque existen muchos tipos de comunicación entre las neuronas, buena parte de lo que el organismo *tiene que hacer* todos los días está programado como reflejos. Los **reflejos** son *respuestas rápidas, involuntarias y predecibles* a los estímulos. Los reflejos tienen lugar en las vías neuronales denominadas **arcos reflejos** y en ellos están implicadas estructuras del CNS y del PNS.

Los reflejos presentes en el organismo se clasifican en reflejos somáticos y autónomos. Los **reflejos somáticos** incluyen todos los reflejos que estimulan los músculos esqueléticos. Cuando retiramos rápidamente la mano de un objeto caliente, se está produciendo un reflejo somático. Los **reflejos autonómos** regulan la actividad de los músculos lisos, el corazón y las glándulas. La secreción de saliva (reflejo salivar) y las variaciones del tamaño de las pupilas oculares (reflejo pupilar) son dos de esos reflejos. Los reflejos autónomos regulan funciones corporales tales como la digestión, la eliminación, la presión arterial y la sudoración.

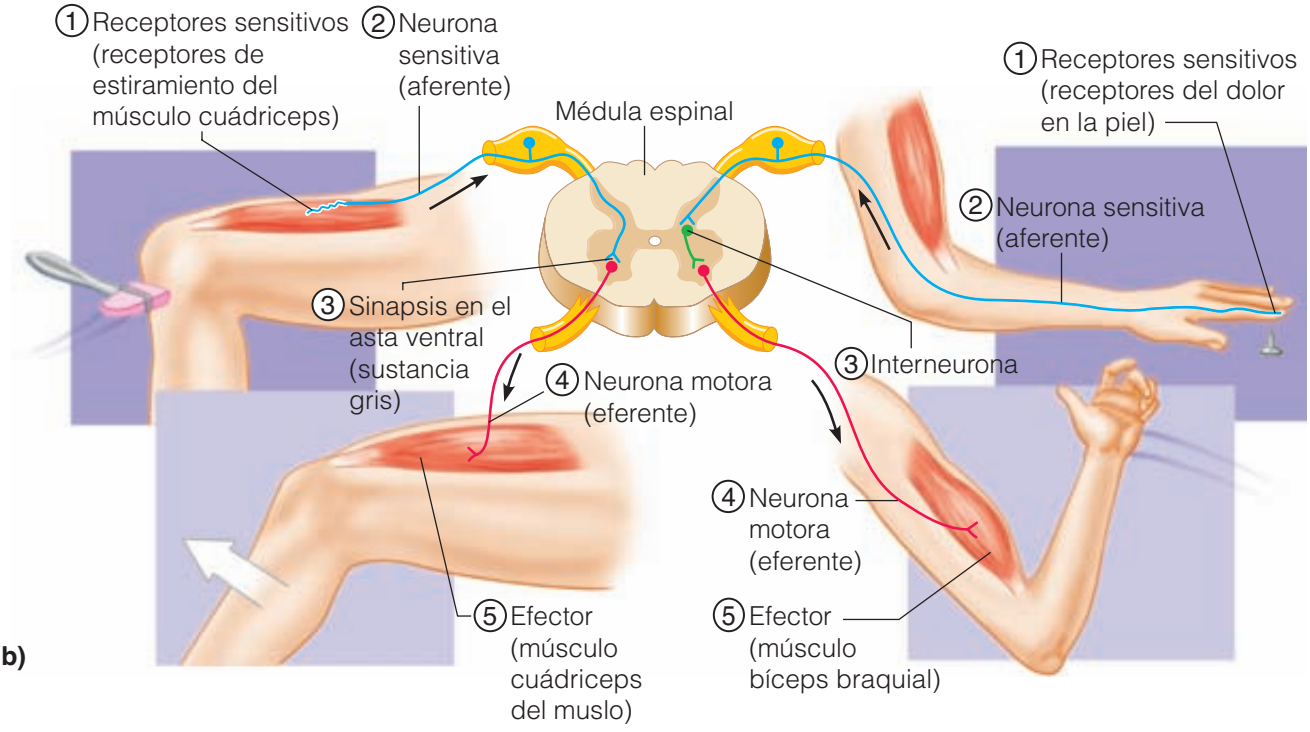
Todos los arcos reflejos están compuestos por cinco elementos como mínimo (Figura 7.11a): un *receptor sensitivo* (que reacciona ante un estímulo), un *órgano efector* (el músculo o la glándula finalmente estimulados) y *neuronas sensitivas y motoras* que conectan estos dos elementos. La sinapsis entre las neuronas sensitivas y motoras representa el elemento central: el *centro de integración* del CNS.

El sencillo *reflejo rotuliano* o de *sacudida de la rodilla*, ilustrado en la Figura 7.11b y d, es un ejemplo de un arco reflejo de dos neuronas, el tipo más simple en humanos. El reflejo rotuliano, cuyo resultado final es la extensión del cuádriceps (músculo unido al tendón golpeado por el martillo), nos resulta muy familiar. Se realiza habitualmente en la exploración física médica para determinar el estado de la porción motora del sistema nervioso. La mayoría de los reflejos son mucho más complejos que el reflejo de dos neuronas; implican sinapsis entre una o más interneuronas del CNS (centro de integración). En la Figura 7.11c se muestra un arco reflejo de tres neuronas, el *reflejo flexor* o *de retirada*, por el que una extremidad se aleja de un estímulo doloroso. El arco reflejo de tres neuronas consta de cinco elementos: receptor, neurona sensitiva, interneurona, neurona motora y efector. Como siempre se produce cierto retraso en las sinapsis (el tiempo que tarda el neurotransmisor en difundirse por la hendidura sináptica) cuantas más sinapsis existan en una vía refleja, más lento será el reflejo.

Muchos reflejos medulares sólo utilizan neuronas de la médula espinal y tienen lugar sin la participación del encéfalo. Siempre que la médula espinal funcione



(a)



(b)

(c)

(d)

FIGURA 7.11 **Arcos reflejos simples. (a)** Los cinco elementos básicos de todos los arcos reflejos. **(b)** Arco reflejo de dos neuronas (ejemplo, reflejo rotuliano). **(c)** Arco reflejo de tres neuronas (ejemplo, reflejo flexor). **(d)** Fotografía que muestra a un médico explorando el reflejo rotuliano (sacudida de la pierna).

bien, los reflejos medulares, como el reflejo flexor, estarán indemnes. Por el contrario, algunos reflejos necesitan la participación del encéfalo porque hay que valorar muchos tipos distintos de información para llegar a la respuesta "correcta". La respuesta de las pupilas oculares a la luz es uno de estos reflejos.

Como se mencionó anteriormente, la exploración de los reflejos es un arma muy importante en la evaluación del estado del sistema nervioso. La exageración, distorsión o ausencia de los reflejos es un indicio de que el sistema nervioso está alterado. Frecuentemente, la modificación de los reflejos precede a otras señales del trastorno.

¿LO HAS ENTENDIDO?

8. ¿Cuál es la diferencia entre un potencial graduado y un potencial de acción?
9. ¿Cómo se transmite un estímulo en las sinapsis?
10. ¿Qué partes de las neuronas se asocian con más frecuencia con los receptores y órganos sensitivos?
11. ¿Qué es un reflejo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Sistema nervioso central

Durante el desarrollo embrionario, el CNS aparece inicialmente como un simple tubo, el **tubo neural,** que se extiende a lo largo del plano medio dorsal del embrión. A la cuarta semana el extremo anterior del tubo neural comienza a expandirse, iniciándose así la formación del encéfalo. El resto del tubo neural, posterior al encéfalo, se convierte en la médula espinal. El canal central del tubo neural, ininterrumpido entre el encéfalo y la médula espinal, se agranda en cuatro regiones del cerebro para formar unas cámaras denominadas **ventrículos** (véase la Figura 7.18 a y b; pág 250)

Anatomía funcional del encéfalo

La apariencia del encéfalo de un adulto, muy poco espectacular, ofrece pocas pistas de sus impresionantes capacidades. Consiste en unos dos puñados generosos de tejido gris rosado, arrugado como una nuez y con la textura de gachas de avena frías. Pesa alrededor de kilo y medio. Como el encéfalo es la masa de tejido nervioso más grande y compleja de todo el organismo, se estudia habitualmente dividiéndolo en sus cuatro regiones principales: *hemisferios cerebrales, diencéfalo, tronco encefálico* y *cerebelo* (Figura 7.12).

Hemisferios cerebrales

Los dos **hemisferios cerebrales** (el izquierdo y el derecho) forman el **cerebro** constituyen la parte superior del encéfalo y son mucho más grandes que las otras tres regiones encefálicas juntas. De hecho, a medida que los hemisferios cerebrales se desarrollan y crecen, rodean y ocultan a la mayor parte del tronco encefálico, de modo que muchas estructuras del tronco encefálico sólo se pueden observar en un corte sagital. Si imaginamos una seta, cuyo sombrero tapa el extremo superior del pie, tendremos una buena imagen de cómo los hemisferios cerebrales cubren el diencéfalo y la parte superior del tronco encefálico (véase la Figura 7.12).

Por toda la superficie de los hemisferios cerebrales aparecen crestas elevadas de tejido denominadas **circunvoluciones** (o *gyrus* en latín, plural *gyri*; "giros, torbellinos") separadas por depresiones profundas llamadas **surcos** (*sulcus*, plural *sulci*, "surcos" hechos con el arado). En menor número, también hay depresiones más hondas denominadas **cisuras** (Figura 7.13a), que separan grandes regiones del encéfalo. Muchas de las cisuras y circunvoluciones constituyen importantes marcas anatómicas. Los hemisferios cerebrales están separados por una única cisura muy profunda, la *cisura interhemisférica*. Otras cisuras y surcos dividen cada hemisferio cerebral en varios **lóbulos,** denominados según el hueso craneal situado por encima (véase la Figura 7.13a y b).

Cada hemisferio contiene tres regiones fundamentales: una *corteza* superficial de sustancia gris, de color gris en el tejido cerebral vivo; la *sustancia blanca*, interna, y los *núcleos basales*, islas de sustancia gris situadas en lo profundo de la sustancia blanca. A continuación se explican estas regiones.

Corteza cerebral El lenguaje, la memoria, la lógica y la respuesta emocional, así como la conciencia, la interpretación de las sensaciones y el movimiento voluntario, son funciones de las neuronas de la **corteza cerebral** y se han identificado muchas de las áreas funcionales de los hemisferios cerebrales (Figura 7.13c). El **área somatosensitiva primaria** está situada en el **lóbulo parietal,** detrás de la **cisura de Rolando** (o surco central). Los impulsos transmitidos desde los receptores sensitivos del organismo (excepto aquellos provenientes de los sentidos especiales) se localizan y se interpretan en esta región cerebral. El área somatosensitiva primaria nos permite reconocer el dolor, el frío o un toque suave. Como ilustra la Figura 7.14, todo el cuerpo está representado en el área sensitiva, de arriba abajo. Esta representación espacial se denomina **homúnculo sensitivo** (de *homunculus*, "hombrecito"). Las regiones del orga-

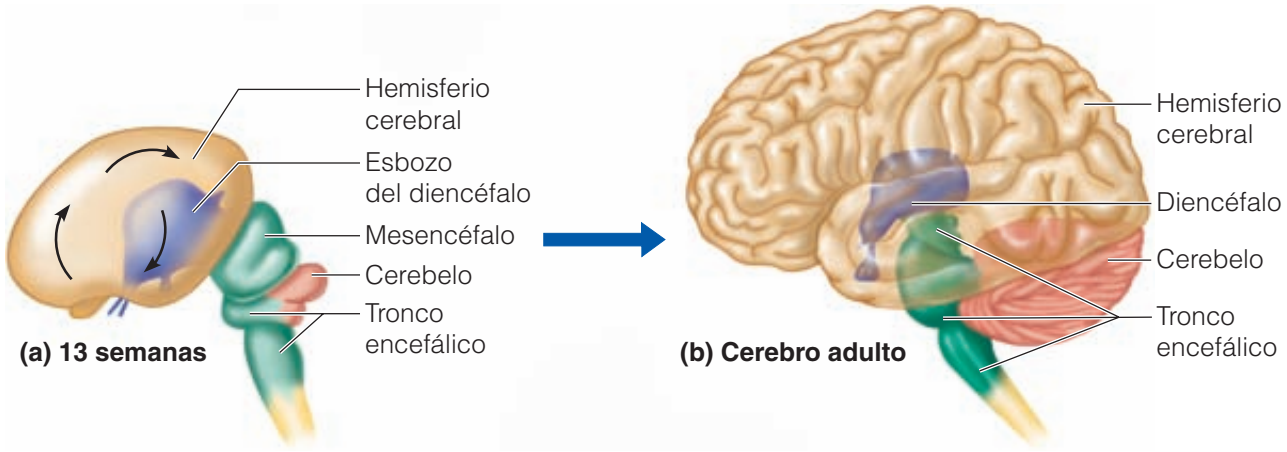


FIGURA 7.12 Formación y desarrollo del encéfalo humano.
El encéfalo se divide en cuatro regiones principales: hemisferios cerebrales, diencéfalo, tronco encefálico y cerebelo. **(a)** En el encéfalo en formación, los huesos del cráneo obligan a los hemisferios cerebrales (inicialmente lisos) a crecer en dirección posterior y lateral respecto a las otras regiones encefálicas. **(b)** En el encéfalo adulto los hemisferios cerebrales (ahora con múltiples pliegues) rodean al diencéfalo y la parte superior del tronco encefálico. El hemisferio izquierdo está dibujado como si fuera transparente para mostrar la situación del diencéfalo y la parte superior del tronco encefálico.

nismo con más receptores sensitivos (los labios y la punta de los dedos) envían impulsos a las neuronas que representan una gran parte del área sensitiva. Además, las vías sensitivas están cruzadas, lo que significa que el área somatosensitiva primaria izquierda recibe los impulsos del lado derecho del cuerpo, y viceversa.

Los impulsos de los órganos de los sentidos especiales se interpretan en otras áreas corticales (véase la Figura 7.13b y c). Por ejemplo, el área visual está situada en la parte posterior del **lóbulo occipital,** el área auditiva está en el **lóbulo temporal** en los márgenes de la *cisura de Silvio* (o surco lateral), y el área olfativa se encuentra en lo profundo del lóbulo temporal.

El **área motora primaria,** encargada del movimiento consciente de los músculos esqueléticos, está situada por delante de la cisura de Rolando en el **lóbulo frontal.** Los axones de estas neuronas motoras forman la principal vía motora voluntaria, el **haz corticoespinal** o **piramidal,** que desciende hacia la médula. Al igual que en la corteza somatosensitiva primaria, el cuerpo está representado de abajo arriba, y las vías están cruzadas. La mayoría de las neuronas del área motora primaria controlan las partes del cuerpo cuyo control motor es más exquisito: la cara, la boca y las manos (Figura 7.14). La representación del organismo en la corteza motora se denomina, como era de esperar, **homúnculo motor.**

Un área cortical especializada muy importante para poder hablar, el **área de Broca** (véase la Figura 7.13c), se encuentra en la base de la circunvolución precentral (circunvolución anterior a la cisura de Rolando). Las lesiones de este área, presente sólo en un hemisferio cerebral (generalmente el izquierdo), provocan que no se puedan decir correctamente las palabras. No se vocalizan las palabras sabiendo lo que se quiere decir.

Se cree que las áreas implicadas en las funciones intelectuales superiores y la conducta socialmente aceptable están en la región anterior de los lóbulos frontales. Los recuerdos complejos parecen estar almacenados en los lóbulos frontales y temporales. El **área del lenguaje** está situada en la unión de los lóbulos temporal, parietal y occipital. El área del lenguaje permite entender las palabras. Esta área (igual que el área de Broca) generalmente se localiza sólo en un hemisferio cerebral. Los lóbulos frontales albergan áreas implicadas en la comprensión del lenguaje (significados de las palabras).

Los somas de las neuronas que realizan las funciones de los hemisferios cerebrales detalladas anteriormente sólo se encuentran en la **sustancia gris** de la superficie de los hemisferios, la corteza cerebral (véase la Figura 7.13a). Como se mencionó anteriormente, la región cortical tiene numerosos pliegues, lo que permite mucho más espacio para los miles de neuronas que allí se encuentran.

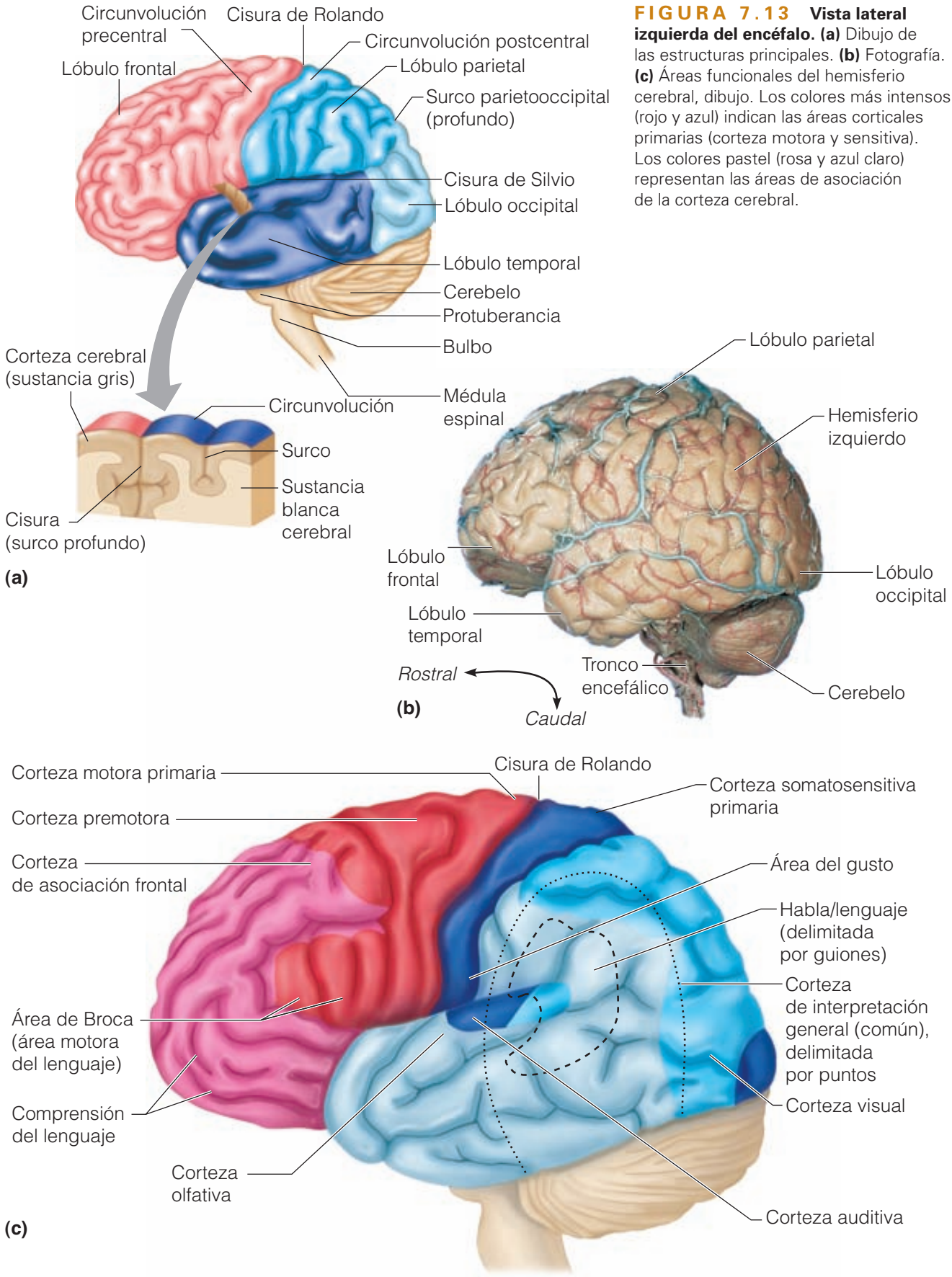


FIGURA 7.13 Vista lateral izquierda del encéfalo. (a) Dibujo de las estructuras principales. **(b)** Fotografía. **(c)** Áreas funcionales del hemisferio cerebral, dibujo. Los colores más intensos (rojo y azul) indican las áreas corticales primarias (corteza motora y sensitiva). Los colores pastel (rosa y azul claro) representan las áreas de asociación de la corteza cerebral.

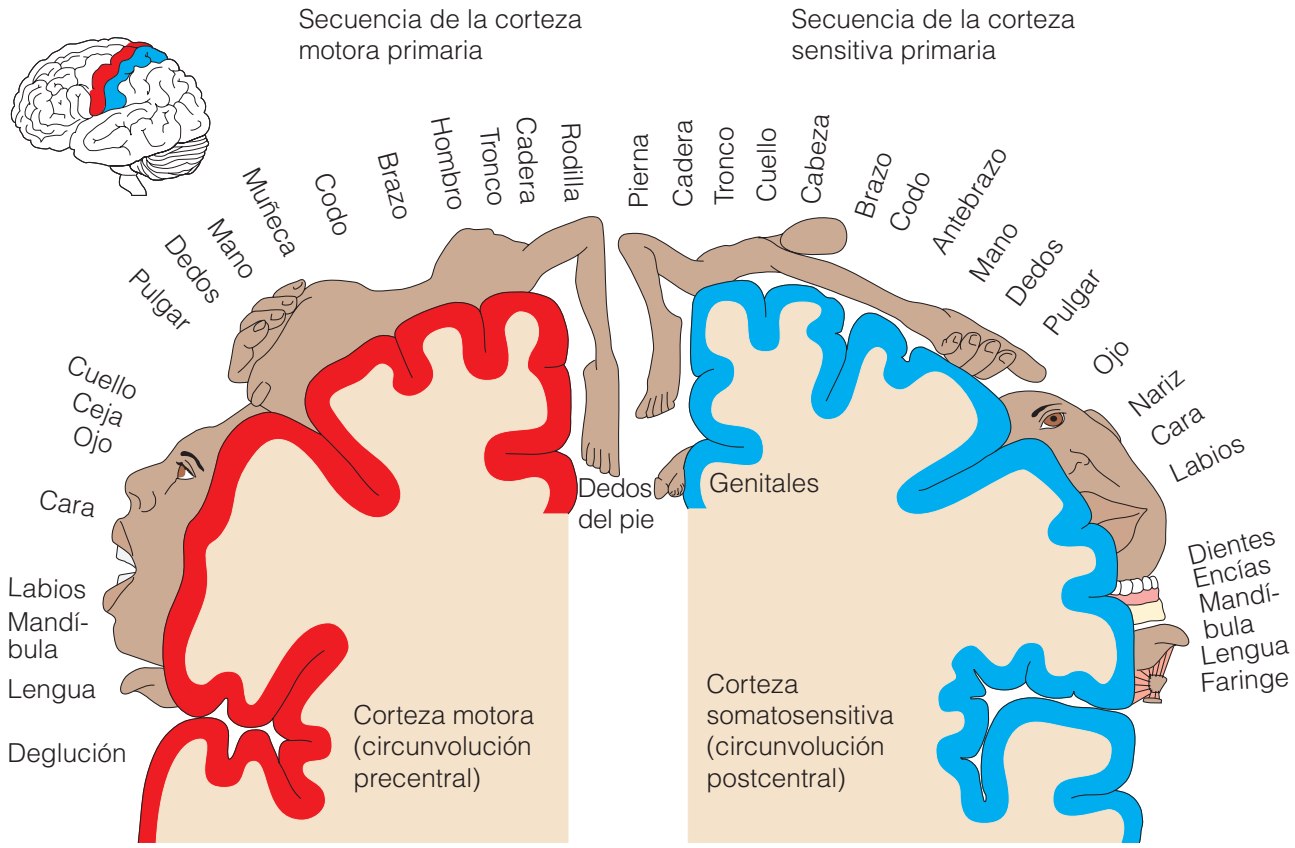


FIGURA 7.14 Áreas sensitiva y motora de la corteza cerebral.
El tamaño relativo del tejido cortical encargado de cada función está representado por los fragmentos de circunvolución ocupados por las representaciones espaciales del organismo (homúnculos). El dibujo izquierdo muestra la corteza motora primaria y el derecho representa la corteza somatosensitiva.

Sustancia blanca hemisférica La mayor parte del resto del tejido hemisférico, la **sustancia blanca cerebral** más profunda que la corteza (véanse las Figuras 7.13a y 7.15), está compuesta por haces de fibras que transportan impulsos hacia y desde la corteza. Un haz muy grande, el **cuerpo calloso,** une los hemisferios cerebrales (Figuras 7.15 y 7.16). Estos haces de fibras se denominan *comisuras*. El cuerpo calloso forma un arco por encima de las estructuras del tronco encefálico y permite la comunicación entre ambos hemisferios. Esto es muy importante porque, como se mencionó, algunas áreas funcionales de la corteza sólo están en un hemisferio. Los *haces de asociación* unen áreas dentro de un mismo hemisferio y los *haces de proyección* unen los hemisferios con los otros centros del CNS.

Núcleos basales Aunque la mayor parte de la sustancia gris se encuentra en la corteza cerebral, existen varias "islas" de sustancia gris, denominadas **núcleos** o **ganglios basales*,** enterradas en la profundidad de la sustancia blanca hemisférica (véase la Figura 7.15). Los núcleos basales participan en la regulación de la actividad motora voluntaria modificando las instrucciones (especialmente en lo que respecta al inicio y al fin del movimiento) que la corteza motora primaria envía a los músculos esqueléticos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO
Las personas con alteraciones en los núcleos basales suelen tener problemas para andar con normalidad o llevar a cabo otros movimientos voluntarios de una manera

*El término *ganglios basales* es un error histórico. Los ganglios son estructuras del sistema nervioso periférico, pero los ganglios basales son un conjunto de somas *en el CNS*. Por este motivo, *núcleos basales* es un término más apropiado.

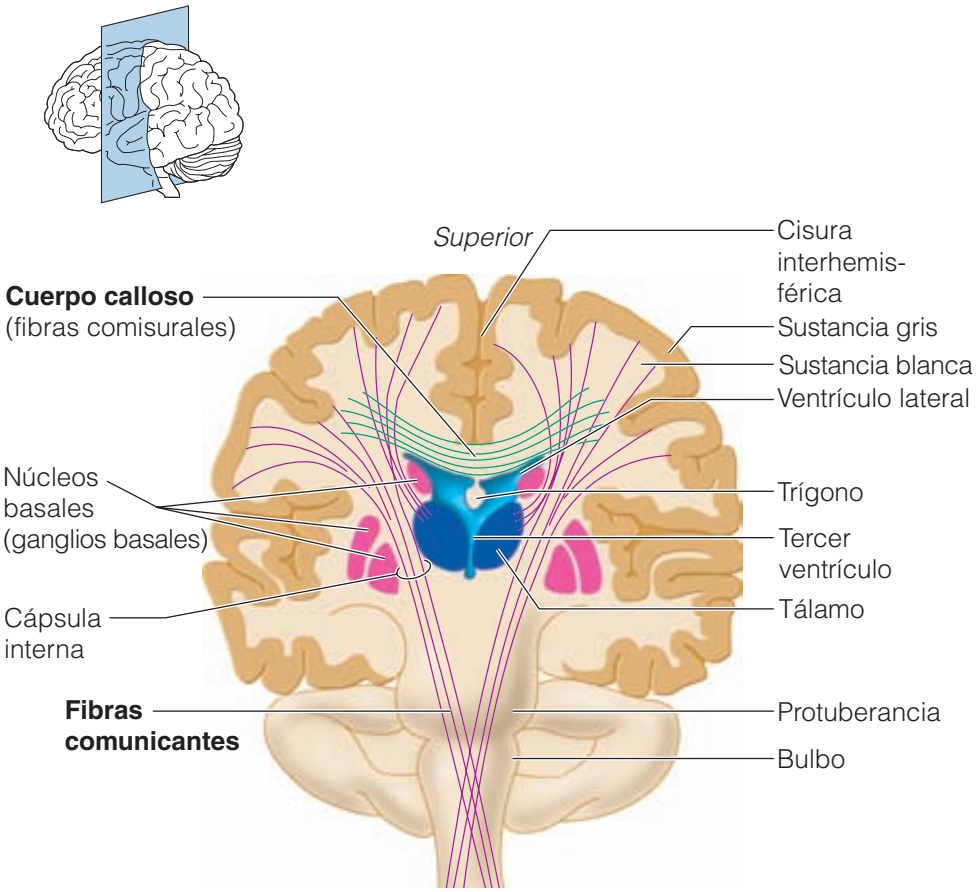


FIGURA 7.15
Corte frontal del encéfalo que muestra las fibras comisurales y las fibras que comunican los hemisferios con el resto del CNS. Obsérvese la apretada banda de fibras, llamada *cápsula interna*, que pasan entre el tálamo y los núcleos basales.

normal. La **enfermedad de Huntington** (o **corea de Huntington**) y la **enfermedad de Parkinson,** dos ejemplos de estos síndromes, se explican en el recuadro "Más de cerca", en las páginas 253-254. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

12. ¿Cuáles son las tres regiones principales de los hemisferios cerebrales?
13. ¿De qué está compuesta la sustancia blanca encefálica?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Diencéfalo

El **diencéfalo** se sitúa por encima del tronco encefálico y está rodeado por los hemisferios cerebrales (véase la Figura 7.12). Las principales estructuras del diencéfalo son el *tálamo*, el *hipotálamo* y el *epitálamo* (véase la Figura 7.16). El **tálamo,** que rodea el superficial *tercer ventrículo* del encéfalo, es una estación de paso de los impulsos sensitivos que suben hacia la corteza sensorial. Cuando los impulsos atraviesan el tálamo se obtiene un reconocimiento grosero de si la sensación que se va a sentir es agradable o desagradable. Son las neuronas de la corteza sensorial las que realmente localizan e interpretan esa sensación.

El **hipotálamo** (literalmente, "debajo del tálamo") constituye el suelo del diencéfalo. Es un centro importante del sistema nervioso autónomo porque interviene en la regulación de la temperatura, el equilibrio hídrico y el metabolismo del organismo. El hipotálamo también es el centro de muchos instintos y emociones, y como tal es una parte importante del llamado **sistema límbico** o "cerebro emocional-visceral". Por ejemplo, los centros de la sed, el apetito, el sexo, el dolor y el placer están en el hipotálamo. Además, el hipotálamo regula la hipófisis (un órgano endocrino) y produce dos hormonas propias. La **hipófisis** o **glándula pituitaria** está suspendida del suelo del hipotálamo (en su porción anterior) por medio de un estrecho pedúnculo. (Las funciones de la hipófisis se explican en el Capítulo 9). Los **cuerpos mamilares,** centros reflejos implicados en el olfato, sobresalen en el suelo del hipotálamo por detrás de la hipófisis.

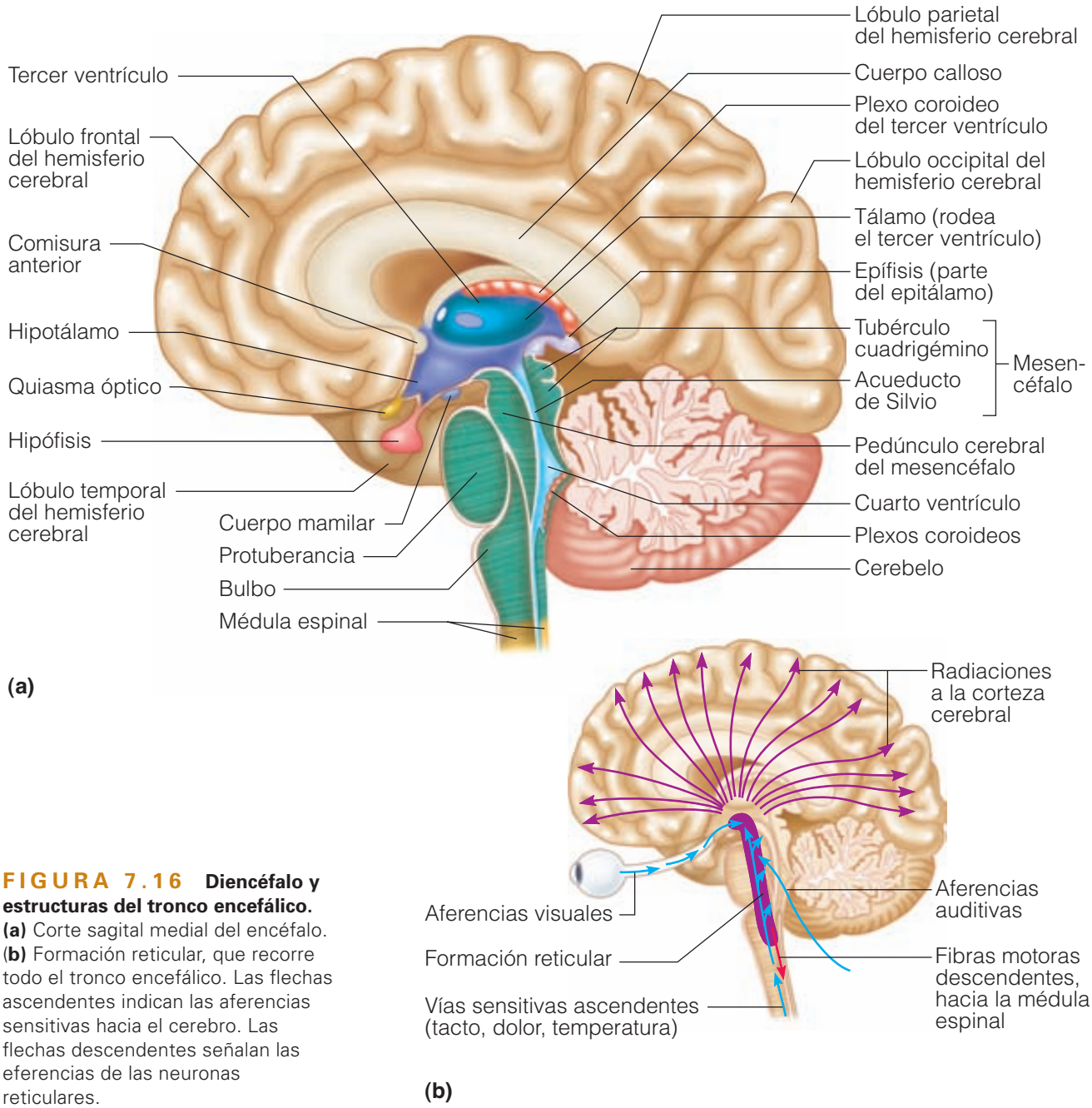


FIGURA 7.16 Diencéfalo y estructuras del tronco encefálico. **(a)** Corte sagital medial del encéfalo. **(b)** Formación reticular, que recorre todo el tronco encefálico. Las flechas ascendentes indican las aferencias sensitivas hacia el cerebro. Las flechas descendentes señalan las eferencias de las neuronas reticulares.

El **epitálamo** forma el techo del tercer ventrículo. Partes importantes del epitálamo son la **epífisis** o **glándula pineal** (parte del sistema endocrino) y los **plexos coroideos** del tercer ventrículo. Los plexos coroideos, ovillos capilares dentro de cada ventrículo, forman el líquido cefalorraquídeo.

Tronco encefálico

El **tronco encefálico** tiene aproximadamente el diámetro de un pulgar y mide unos 7,5 cm de largo. Está compuesto por el *mesencéfalo*, la *protuberancia* y el *bulbo*. Además de constituir la senda por donde discurren los haces ascendentes y descendentes, el tronco

encefálico contiene muchas pequeñas áreas de sustancia gris. Estos núcleos son los responsables de las funciones autónomas rígidamente programadas y necesarias para la supervivencia. Además, algunos son los núcleos de origen de los pares craneales y otros controlan actividades vitales tales como la respiración o la presión arterial. Es conveniente identificar las áreas del tronco encefálico en la Figura 7.16 a medida que se leen las siguientes descripciones.

Mesencéfalo El *mesencéfalo* es una parte relativamente pequeña del tronco encefálico. Se extiende desde los cuerpos mamilares hasta la protuberancia. El **acueducto de Silvio** (o acueducto mesencefálico o cerebral) es un estrecho canal en el interior del mesencéfalo que conecta el tercer ventrículo del diencéfalo con el cuarto ventrículo, situado más abajo. La parte anterior del mesencéfalo está compuesta básicamente por dos haces protuberantes, los **pedúnculos cerebrales** (literalmente, "piececitos del cerebro"), que transportan impulsos ascendentes y descendentes. Hay cuatro protrusiones redondeadas situadas dorsalmente, denominadas **tubérculos cuadrigéminos** porque a algún anatomista le recordaron a dos parejas de gemelos *(gemini)*. Estos abultados núcleos son centros reflejos implicados en la vista y la audición.

Protuberancia La **protuberancia** es la estructura redondeada que sobresale inmediatamente por debajo del mesencéfalo. *Protuberancia* significa, en el latín original *(pons)*, "puente", y este área del tronco encefálico está compuesto básicamente por haces de fibras nerviosas. No obstante, posee importantes núcleos implicados en el control de la respiración.

Bulbo El **bulbo** es la porción inferior del tronco encefálico. Se transforma en la médula espinal sin ningún cambio aparente en su estructura. Del mismo modo que la protuberancia, el bulbo está compuesto por haces nerviosos, pero también contiene muchos núcleos que regulan actividades viscerales vitales. Contiene los centros que controlan la frecuencia cardiaca, la presión arterial, la respiración, la deglución y el vómito, entre otros. El **cuarto ventrículo** está situado posterior a la protuberancia y el bulbo y anterior al cerebelo.

Formación reticular A lo largo de toda la longitud del tronco encefálico existe una masa difusa de sustancia gris, la **formación reticular.** Las neuronas de la formación reticular están implicadas en el control motor de las vísceras. Un grupo especial de neuronas de la formación reticular, el **sistema reticular activador (RAS),** participa en el nivel de conciencia y los ciclos sueño/vigilia (Figura 7.16b). Las lesiones de esta zona pueden provocar inconsciencia permanente (coma).

Cerebelo

El **cerebelo,** grande y con la apariencia de una coliflor, está situado por debajo y por detrás del lóbulo occipital del cerebro. Al igual que el cerebro, el cerebelo tiene dos hemisferios y una superficie plegada que forma circunvoluciones. El cerebelo también posee una corteza externa compuesta de sustancia gris y una región interna de sustancia blanca.

El cerebelo proporciona el control temporal preciso a la actividad de los músculos esqueléticos y controla el equilibrio. Su actividad supone que los movimientos del organismo sean suaves y coordinados. No funciona tan bien cuando está sedado por el alcohol. Las fibras alcanzan el cerebelo desde el aparato del equilibrio del oído interno, el ojo, los propiorreceptores de los músculos esqueléticos y los tendones, y muchas otras áreas. El cerebelo se puede comparar con un piloto automático, continuamente contrastando las "intenciones" del encéfalo con lo que el organismo está haciendo realmente, vigilando la posición corporal y la tensión existente en distintas partes del organismo. Cuando es necesario, envía mensajes para poner en marcha las medidas correctoras oportunas.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando el cerebelo está lesionado (por ejemplo, por un golpe en la cabeza, un tumor o un infarto), los movimientos son torpes y desorganizados, trastorno conocido como **ataxia.** Los pacientes no pueden mantener el equilibrio y a veces parecen borrachos, por la pérdida de coordinación muscular. No son capaces de tocarse la punta de la nariz con los ojos cerrados, algo que las personas normales hacen fácilmente. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

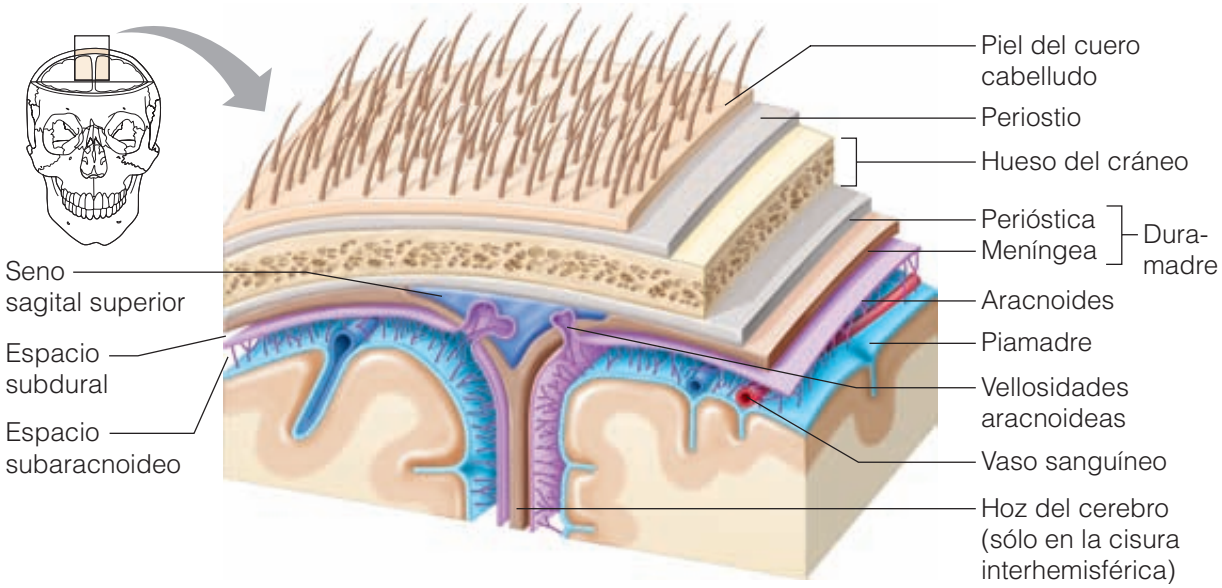
14. ¿Qué regiones encefálicas controlan ciertas actividades vitales como la respiración y la presión sanguínea, el cerebro, el tronco encefálico o el cerebelo?
15. ¿Cuál es la función del cerebelo?
16. ¿En qué importante región encefálica están el tálamo, el hipotálamo y la glándula pineal?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

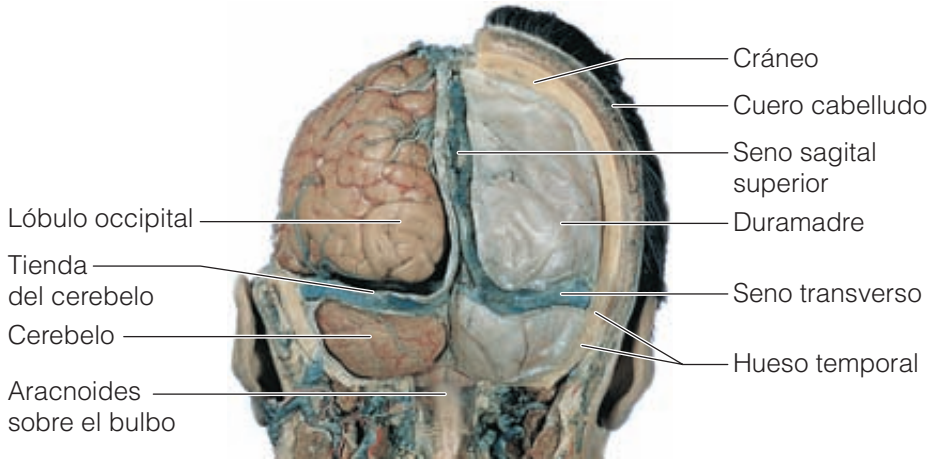
Protección del sistema nervioso central

El tejido nervioso es muy blando y delicado, y las irreemplazables neuronas resultan dañadas incluso por una presión mínima. La naturaleza ha intentado proteger el encéfalo y la médula espinal rodeándolos de hueso (el cráneo y la columna vertebral), membranas

¿Cuáles serían las consecuencias de un bloqueo de las vellosidades aracnoideas?



(a)



(b)

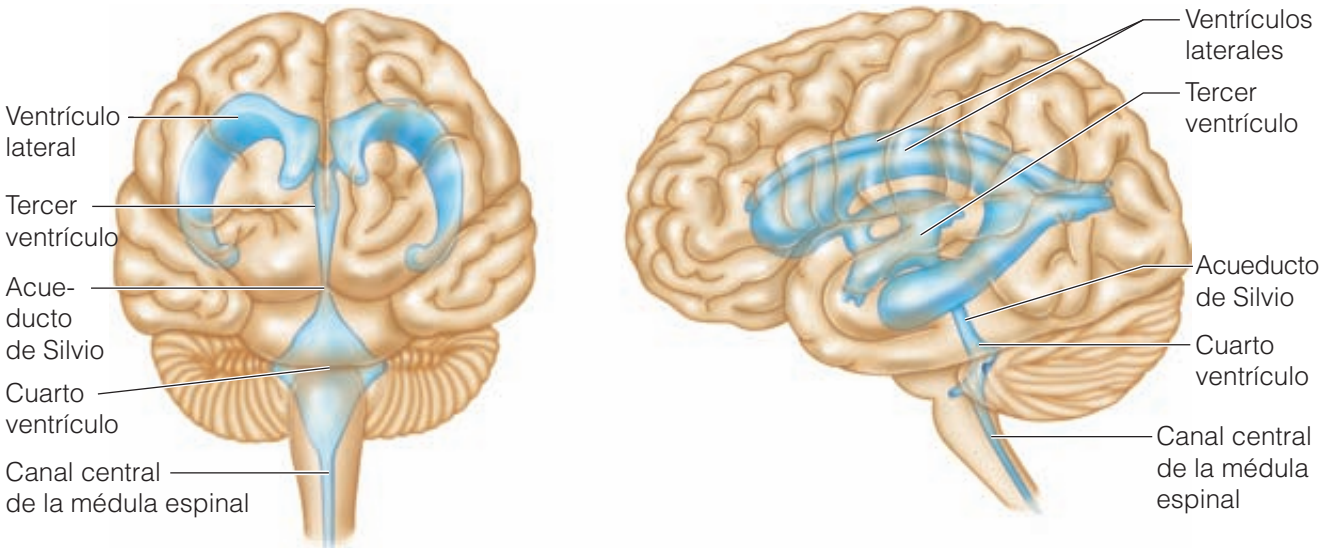
FIGURA 7.17
Meninges del encéfalo. **(a)** Corte frontal tridimensional con las meninges (duramadre, aracnoides y piamadre) que rodean y protegen el encéfalo. También ilustra la posición de la duramadre con respecto a la hoz del cerebro y el seno sagital o longitudinal posterior (dural). **(b)** Vista posterior del encéfalo, rodeado por la duramadre.

(las meninges) y una solución amortiguadora (el líquido cefalorraquídeo). La protección frente a las sustancias dañinas de la sangre la proporciona la llamada "barrera hematoencefálica". Ya se han estudiado las cubiertas óseas (Capítulo 5), de modo que a continuación se explicarán los demás elementos protectores.

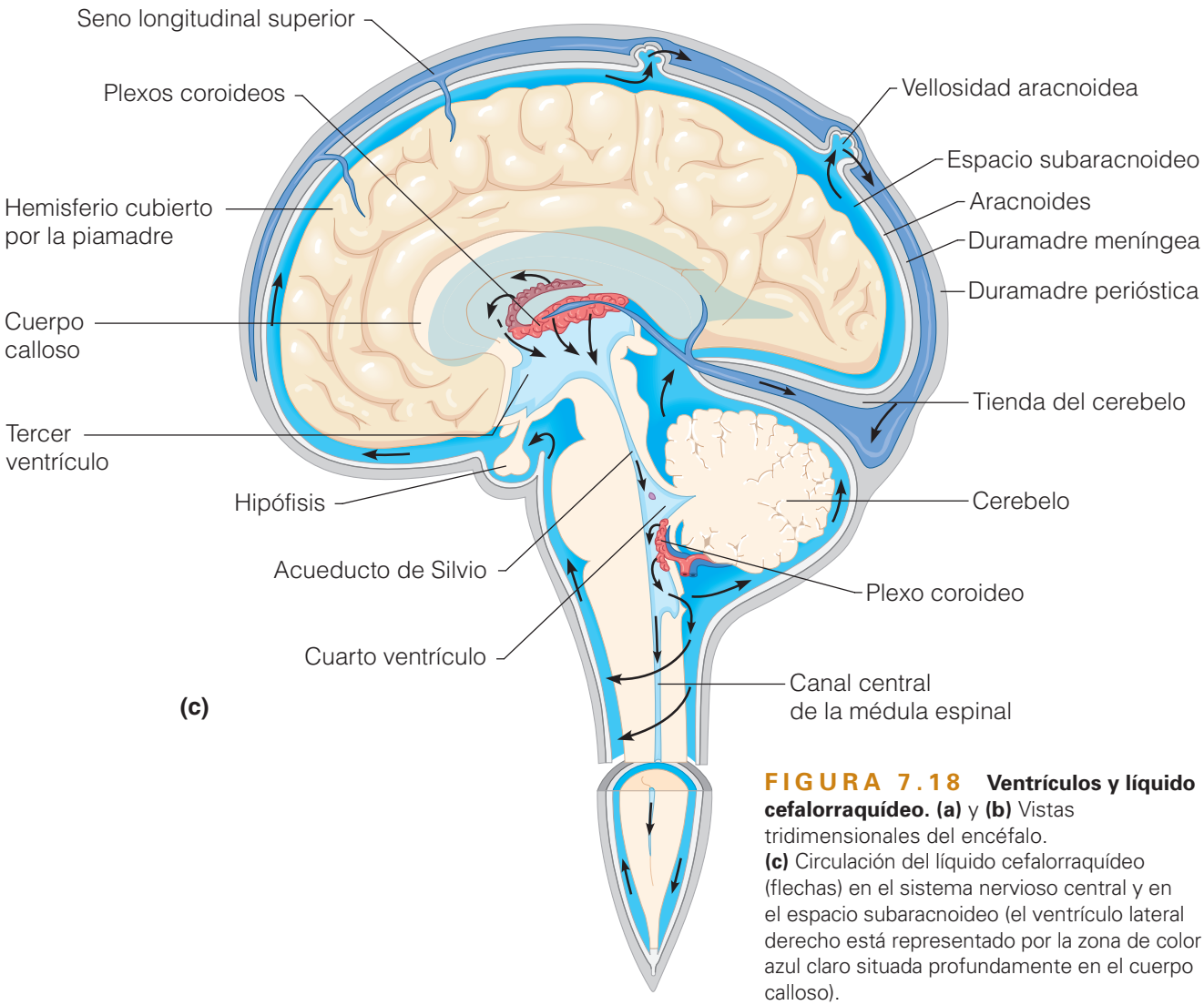
Hidrocefalia ("agua en la cabeza"). Los ventrículos se agrandarían al acumularse el líquido cefalorraquídeo, incapaz de drenar en los senos venosos.

Meninges

Las tres membranas de tejido conectivo que cubren y protegen el CNS son las **meninges** (Figura 7.17). La capa más externa, la correosa **duramadre** (que significa madre estricta o dura), es una membrana de dos capas en los lugares donde rodea al encéfalo. Una de sus capas está unida a la superficie interna del cráneo, formando el periostio *(capa perióstica)*. La otra, denominada *capa meníngea*, forma la cubierta más externa del encéfalo y se continúa como la duramadre de la médula espinal. Ambas capas de la duramadre están unidas excepto en tres zonas, en las que se separan para



(a) Vista anterior **(b) Vista lateral izquierda**



(c)

FIGURA 7.18 Ventrículos y líquido cefalorraquídeo. (a) y **(b)** Vistas tridimensionales del encéfalo. **(c)** Circulación del líquido cefalorraquídeo (flechas) en el sistema nervioso central y en el espacio subaracnoideo (el ventrículo lateral derecho está representado por la zona de color azul claro situada profundamente en el cuerpo calloso).

albergar los *senos venosos*, que recogen la sangre venosa.

En varias zonas, la membrana interna de la duramadre forma pliegues que unen el encéfalo a la cavidad craneal. La Figura 7.17a ilustra uno de esos pliegues, la **hoz** (hoces) **del cerebro.** En las Figuras 7.17b y 7.18c se muestra otro pliegue, la **tienda del cerebelo,** que separa el cerebelo del cerebro.

La capa meníngea media es la **aracnoides,** en forma de red (véase la Figura 7.17). *Arachnida* significa "araña" y algunos opinan que la membrana aracnoidea se parece a una tela de araña. La aracnoides presenta extensiones filiformes que atraviesan el **espacio subaracnoideo** para unir esta capa con la membrana más interna, la **piamadre** ("madre tierna"). La delicada piamadre se une estrechamente a la superficie del encéfalo y la médula espinal, siguiendo todos los pliegues.

El espacio subaracnoideo está ocupado por el líquido cefalorraquídeo. Las **vellosidades aracnoideas,** prolongaciones especializadas de la membrana aracnoidea, sobresalen de la duramadre. El líquido cefalorraquídeo pasa a la sangre venosa de los senos de la duramadre a través de las vellosidades aracnoideas.

FIGURA 7.19 **Recién nacido con hidrocefalia.**

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La **meningitis,** o inflamación de las meninges, supone una grave amenaza para el encéfalo porque las meningitis víricas o bacterianas pueden extenderse al tejido nervioso del CNS. Si esto ocurre, la enfermedad se denomina **encefalitis** (inflamación del cerebro). La meningitis se diagnostica habitualmente obteniendo una muestra de líquido cefalorraquídeo del espacio subaracnoideo. ▲

Líquido cefalorraquídeo

El **líquido cefalorraquídeo (CFS)** es un "caldo" aguado de composición similar al plasma sanguíneo, del que se deriva. No obstante, contiene menos proteínas y más vitamina C, y su composición iónica es distinta.

Los plexos coroideos forman continuamente CFS a partir de la sangre. Los plexos coroideos son conjuntos de capilares colgados del "techo" de todos los ventrículos encefálicos. El CFS, dentro y alrededor del encéfalo y la médula, funciona como un amortiguador líquido que protege el frágil tejido nervioso de golpes y otras agresiones.

El CFS se mueve continuamente dentro del encéfalo (véase la Figura 7.18c). Circula desde los dos ventrículos laterales (en los hemisferios cerebrales) al tercer ventrículo (del diencéfalo) y de allí, a través del acueducto de Silvio mesencefálico, al cuarto ventrículo situado dorsalmente en la protuberancia y el bulbo. Parte del líquido que llega al cuarto ventrículo simplemente continúa bajando hacia la médula, pero la mayor parte pasa al espacio subaracnoideo a través de tres aperturas existentes en las paredes del cuarto ventrículo. El CFS retorna a la sangre en los senos venosos de la duramadre, gracias a las vellosidades aracnoideas. El CFS se forma y se drena a una velocidad constante, de modo que su volumen (150 ml, media taza) y su presión se mantienen en los límites normales habitualmente. Cualquier cambio significativo de la composición del CFS (y la presencia de células sanguíneas en el CFS) puede ser un signo de meningitis o de otras enfermedades encefálicas, como tumores o esclerosis múltiple. Las muestras de CFS para análisis se obtienen mediante un procedimiento denominado *punción lumbar*. Puesto que la extracción del líquido (para ser analizado) reduce la presión del CFS, el paciente debe permanecer en una posición horizontal (tumbado) de 6 a 12 horas después del procedimiento para prevenir la "cefalea postpunción lumbar", un dolor de cabeza especialmente martirizante.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando algo obstruye el drenaje del CFS (un tumor, por ejemplo), el líquido se acumula y ejerce presión sobre el encéfalo. Esta alteración es la **hidrocefalia,** literalmente, "agua en la cabeza". En los recién nacidos, la hidrocefalia provoca que la cabeza se agrande a medida que el encéfalo aumenta de tamaño (Figura 7.19). Esto es posible

en los bebés porque los huesos del cráneo todavía no se han fusionado. Sin embargo, en los adultos es muy probable que esta alteración provoque daño cerebral, porque el cráneo es muy duro y el líquido que se acumula aplasta el tejido nervioso, tan blando. Hoy en día la hidrocefalia tiene tratamiento quirúrgico, insertando una derivación (un tubo de plástico) para drenar el líquido en exceso a una vena del cuello o del abdomen. ▲

La barrera hematoencefálica

Ningún otro órgano del organismo depende de un modo tan absoluto de un ambiente interno constante como el encéfalo. Otros tejidos corporales pueden soportar las fluctuaciones, bastante pequeñas, de las concentraciones de hormonas, iones y nutrientes que tienen lugar todo el tiempo, especialmente después de comer o de hacer ejercicio. Si el encéfalo estuviera expuesto a esos cambios químicos, se produciría una actividad neuronal descontrolada; hay que recordar que algunos iones (sodio y potasio) están implicados en la generación de los impulsos nerviosos, y algunos aminoácidos actúan como neurotransmisores. Por lo tanto, a las neuronas se las mantiene separadas de las sustancias que transporta la sangre mediante la denominada **barrera hematoencefálica,** compuesta por los capilares *menos* permeables de todo el organismo. Estos capilares se unen unos a otros casi por completo, con uniones intercelulares herméticas presentes en todos ellos. De las sustancias hidrosolubles, sólo el agua, la glucosa y los aminoácidos esenciales atraviesan fácilmente las paredes de estos capilares. Los productos de deshecho metabólicos (urea, por ejemplo), las toxinas, las proteínas y muchos fármacos no pueden penetrar en el tejido encefálico. A los aminoácidos no esenciales y a los iones de potasio no sólo se les impide entrar en el encéfalo, sino que, además, son bombeados activamente desde el encéfalo a la sangre, a través de las paredes capilares. Aunque los "pies" bulbosos de los astrocitos, abrazados a los capilares, contribuyan a la barrera, el máximo responsable de esta protección es la relativa impermeabilidad de los capilares cerebrales.

La barrera hematoencefálica es prácticamente inútil frente a los lípidos (grasas), los gases respiratorios y otras moléculas liposolubles que atraviesan fácilmente todas las membranas plasmáticas. Esto explica por qué el alcohol, la nicotina o los anestésicos presentes en la sangre alcanzan el encéfalo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

17. ¿Qué nombre reciben las cavidades encefálicas ocupadas por el líquido cefalorraquídeo?
18. ¿Qué nombre recibe la barrera que protege el encéfalo de las sustancias químicas tóxicas?
19. ¿En qué capa meníngea se realiza el drenaje del líquido cefalorraquídeo a la sangre –en la duramadre, aracnoides o piamadre?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Enfermedades cerebrales

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las disfunciones del encéfalo son increíblemente variadas. Algunas de ellas se mencionan más adelante ("el trío terrible" en el Recuadro "Más de cerca" de las páginas 253-254) y los problemas del neurodesarrollo se abordan en la sección final de este capítulo. Este punto se centra en las lesiones encefálicas traumáticas (traumatismos craneoencefálicos) y los accidentes cerebrovasculares. Las técnicas utilizadas para diagnosticar muchos trastornos del encéfalo se describen en el recuadro "Más de cerca" de las páginas 271-272.

Traumatismos craneoencefálicos

Los traumatismos en la cabeza son una de las primeras causas de muerte accidental en Estados Unidos. Considérese, por ejemplo, lo que sucede cuando no se abrocha el cinturón y el coche colisiona con la parte trasera de otro coche. La cabeza está en movimiento y se detiene bruscamente al chocar contra el parabrisas. El encéfalo no resultará dañado sólo en el lugar del golpe, sino que también sufrirá lesiones por el contragolpe, al chocar con el extremo contrario del cráneo.

Una **conmoción** tiene lugar cuando el daño al encéfalo es pequeño. La persona puede estar mareada, "ver las estrellas" o perder la conciencia brevemente, pero no se producen alteraciones encefálicas permanentes. Una **contusión** cerebral es el resultado de una importante destrucción del tejido. Si la corteza encefálica se lesiona, la persona puede seguir estando consciente, pero las contusiones graves del tronco encefálico siempre provocan un coma de duración variable, desde horas al resto de la vida, por la lesión del sistema reticular activador.

Los traumatismos craneoencefálicos pueden causar la muerte por **hemorragia intracraneal** (sangrado de los vasos que se han roto) o por **edema cerebral** (hinchazón del encéfalo debida a la respuesta inflamatoria a la lesión). Cuando las personas que inicialmente están despiertas y lúcidas tras un traumatismo craneoencefálico presentan un deterioro neurológico progresivo, lo más probable es que estén sangrando o sufriendo las consecuencias del edema; en ambos casos se comprime el vital tejido encefálico.

Accidentes cerebrovasculares

Los **accidentes cerebrovasculares (CVA),** habitualmente conocidos como *ictus, apoplejías, derrames cerebrales* o *infartos cerebrales*, son la tercera causa de muerte en Esta-

MÁS DE CERCA

ALZHEIMER, PARKINSON Y HUNTINGTON: EL TRÍO TERRIBLE

¿En qué se parecen el ex presidente Ronald Reagan y el actor Michael J. Fox? En casi nada, aparte de que los dos padecen o padecieron una de las tres terribles enfermedades degenerativas del CNS.

La **enfermedad de Alzheimer** es una enfermedad degenerativa progresiva que en última instancia provoca una demencia (deterioro intelectual). Los pacientes con enfermedad de Alzheimer representan casi la mitad de todas las personas en residencias de ancianos. Padecen esta enfermedad entre el 5% y el 15% de las personas mayores de 65 años, y es una de las causas principales de fallecimiento en la mitad de los mayores de 85 años, aproximadamente.

Sus víctimas, como el presidente Ronald Reagan, presentan pérdida de memoria (especialmente para hechos recientes), escasa capacidad de atención, desorientación, y al final también deterioro o pérdida del lenguaje. Personas previamente afables pueden convertirse tras varios años en individuos irritables, con cambios bruscos de humor, confusos y a veces agresivos. En última instancia aparecen alucinaciones.

La enfermedad de Alzheimer está asociada con un déficit de acetilcolina y con cambios estructurales del cerebro, especialmente en las áreas implicadas en el razonamiento y la memoria. Las circunvoluciones disminuyen de tamaño y el cerebro se atrofia. La causa exacta es desconocida, pero algunos casos de Alzheimer parecen ser hereditarios.

El examen microscópico del tejido encefálico muestra placas seniles (agregados del *péptido beta amiloide*) por todo el encéfalo, como metralla entre las neuronas. A los investigadores les ha resultado muy frustrante y difícil descubrir por qué el péptido beta amiloide actúa como una neurotoxina, especialmente porque también está presente en neuronas sanas (pero en menor cantidad). Se desconoce qué descompensa la balanza a favor de una mayor producción de beta amiloide, pero sí se sabe que este minúsculo péptido ejerce su nociva acción aumentando la entrada de calcio en ciertas neuronas encefálicas.

> *"Los pacientes con enfermedad de Alzheimer constituyen casi la mitad de todas las personas en residencias de ancianos.*

Otra línea de investigación se ocupa de una proteína denominada *tau*, que aparentemente funciona como las traviesas del ferrocarril, uniendo las "vías" de microtúbulos. En los encéfalos de pacientes que sufren esta enfermedad, la tau pierde su papel de estabilizadora de los microtúbulos y se une a otras moléculas de proteína tau, formando ovillos neurofibrilares (parecidos a espagueti) dentro de los somas neuronales. Estos cambios neurodegenerativos se desarrollan a lo largo de varios años, periodo de tiempo en el que los familiares observan cómo la persona querida "desaparece". Es un proceso largo y doloroso. Queda la esperanza de que las distintas líneas de investigación, especialmente con las células madre, finalmente converjan y señalen un tratamiento, pero en el momento actual los fármacos más útiles (disminuyen los síntomas) son los inhibidores de la degradación de la aceticolina.

La **enfermedad de Parkinson,** un ejemplo de alteración de los núcleos basales, afecta habitualmente a personas de 50 a 70 años de edad (Michael J. Fox es una excepción). Es el resultado de la degeneración de las neuronas dopaminérgicas de la sustancia *nigra*. A medida que esas neuronas se deterioran, los núcleos basales, privados de la dopamina que esas neuronas les aportan, se vuelven hiperactivos, causando los conocidos síntomas de la enfermedad. Las personas afectadas, como Michael J. Fox, muestran inexpresividad facial, un temblor de reposo continuo (visible en movimientos de la cabeza y de "contar monedas" de los dedos), y alteraciones de la marcha: caminan inclinados hacia delante y arrastrando los pies. Además, tienen dificultades para iniciar el movimiento y hacer que sus músculos se pongan en marcha.

La causa de la enfermedad de Parkinson sigue siendo desconocida. Un fármaco, la *L-dopa*, alivia algunos síntomas. No obstante, la L-dopa no cura, sino que con el tiempo (a medida que mueren más y más neuronas) deja de ser eficaz. También tiene efectos indeseables: náuseas graves, mareo y afectación hepática en algunos casos. Otro fármaco más reciente es la selegilina. En las primeras etapas de la enfermedad la selegilina enlentece en cierta medida el deterioro neurológico y retrasa la necesidad de administrar

MÁS DE CERCA Alzheimer, Parkinson y Huntington: el trío terrible *(continuación)*

L-dopa hasta 18 meses. En etapas más avanzadas la selegilina prolonga la eficacia de la L-dopa.

La estimulación cerebral profunda (talámica) mediante electrodos implantados ha demostrado ser útil para mejorar el temblor, pero apenas hace nada más. Otras estrategias más prometedoras respecto a los resultados a largo plazo son los trasplantes intraencefálicos de tejido de sustancia *nigra* embrionaria, células dopaminérgicas procedentes de fetos porcinos y células maduras de la sustancia *nigra* modificadas con ingeniería genética. Todas estas técnicas han logrado cierta regresión de los síntomas de la enfermedad. No obstante, la utilización de tejidos fetales es un camino controvertido y plagado de obstáculos éticos y legales.

La **enfermedad de Huntington** es una enfermedad genética que afecta a personas de mediana edad y provoca una degeneración masiva de los núcleos basales en primer lugar y de la corteza cerebral después. Los síntomas iniciales más frecuentes son movimientos breves, espasmódicos, impredecibles y casi continuos, denominados *corea* (que en griego significa "bailar"). Aunque estos movimientos parecen voluntarios, no lo son. En etapas más avanzadas de la enfermedad aparece un notable deterioro intelectual. La enfermedad de Huntington es progresiva y generalmente mortal en un plazo máximo de 15 años, contados desde la aparición de los síntomas.

Los signos y síntomas de la enfermedad de Huntington son básicamente los contrarios a los del Parkinson (sobreestimulación de la movilidad en vez de inhibición) y los fármacos usados para el tratamiento de la enfermedad de Huntington bloquean los efectos de la dopamina (en vez de favorecerlos). Como se puede ver, los neurotransmisores, que son las "palabras" de las neuronas, hacen que el lenguaje neuronal sea incomprensible cuando algo va mal. Al igual que en la enfermedad de Parkinson, los implantes de tejido fetal podrían ser un tratamiento prometedor en el futuro.

dos Unidos. Se producen al interrumpirse el flujo sanguíneo a una región del encéfalo por un coágulo o por la ruptura de un vaso sanguíneo, y el tejido encefálico muere. En los accidentes cerebrovasculares suele ser posible determinar el área encefálica afectada observando los síntomas del paciente. Por ejemplo, si el paciente presenta parálisis del lado izquierdo (las parálisis de sólo un lado se denominan **hemiplejías**), la zona implicada con mayor probabilidad es la corteza motora derecha del lóbulo frontal. Las **afasias** son el resultado habitual de las lesiones del hemisferio izquierdo, en el que están situadas las áreas del lenguaje. Hay muchos tipos de afasias, pero las más frecuentes son la *afasia motora*, que implica la lesión del área de Broca y la pérdida de la capacidad de hablar, y la *afasia sensitiva*, en la que la per-

sona pierde la capacidad de entender el lenguaje escrito y hablado. Las afasias son desesperantes para los pacientes porque, en general, el intelecto está conservado. Las lesiones encefálicas también pueden cambiar notablemente el temperamento de la persona (por ejemplo, un carácter alegre se transforma en agrio). En estos casos se podría sospechar la existencia de un tumor, además de un accidente cerebrovascular.

Menos de la tercera parte de los que sobreviven a un accidente cerebrovascular continúan vivos tres años después. Pero aun así, el panorama no es tan desalentador. Algunos pacientes recuperan al menos parcialmente las facultades perdidas, porque las neuronas ilesas se extienden a las zonas donde las neuronas han muerto y se encargan de algunas de las funciones perdidas. De hecho, la mayor parte de la recuperación que se observa después de una lesión del encéfalo se debe a este fenómeno.

No todos los ictus son "completos". La isquemia cerebral transitoria, o restricción del flujo sanguíneo, se denomina **ataque isquémico transitorio.** Estos ataques duran de 5 a 50 minutos y se caracterizan por síntomas tales como insensibilidad, parálisis temporal, o alteración del lenguaje. Aunque estos problemas no son permanentes, sí son "señales de aviso" que alertan de la llegada inminente de accidentes cerebrovasculares más graves. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

20. Si una persona se golpea en la cabeza con un bate de béisbol y entra en coma rápidamente, ¿ha sufrido una conmoción o una contusión?

Véase la respuesta en el apéndice D.

Médula espinal

La **médula espinal,** blanca brillante, cilíndrica y de unos 42 cm de largo, es la continuación del tronco encefálico. La médula espinal constituye una vía de comunicación de dos direcciones, desde y hacia el encéfalo, y es también un centro clave de los reflejos (los reflejos medulares terminan en este nivel). Rodeada por la columna vertebral, la médula espinal se extiende desde el agujero magno (o agujero occipital) del cráneo hasta la primera o segunda vértebra lumbar, donde acaba, un poco por debajo de las costillas (Figura 7.20). Al igual que sucede con el encéfalo, las meninges funcionan como amortiguadoras y protectoras de la médula espinal. Las capas meníngeas no terminan en la segunda vértebra lumbar (L_2) sino que se prolongan mucho más allá del final de la médula espinal en el canal vertebral. Como no es posible hacer daño a la médula por debajo de L_3, el saco meníngeo inferior a ese punto constituye un lugar casi ideal para obtener CFS para análisis.

En los seres humanos nacen de la médula 31 parejas de nervios espinales, que salen de la columna vertebral y se distribuyen por un área corporal cercana. La médula espinal tiene el grosor de un pulgar en la mayor parte de su recorrido, pero obviamente, es más gruesa en las regiones cervical y lumbar, de las que nacen y salen de la médula los nervios encargados de las extremidades superiores e inferiores. Como la columna vertebral crece más rápido que la médula,

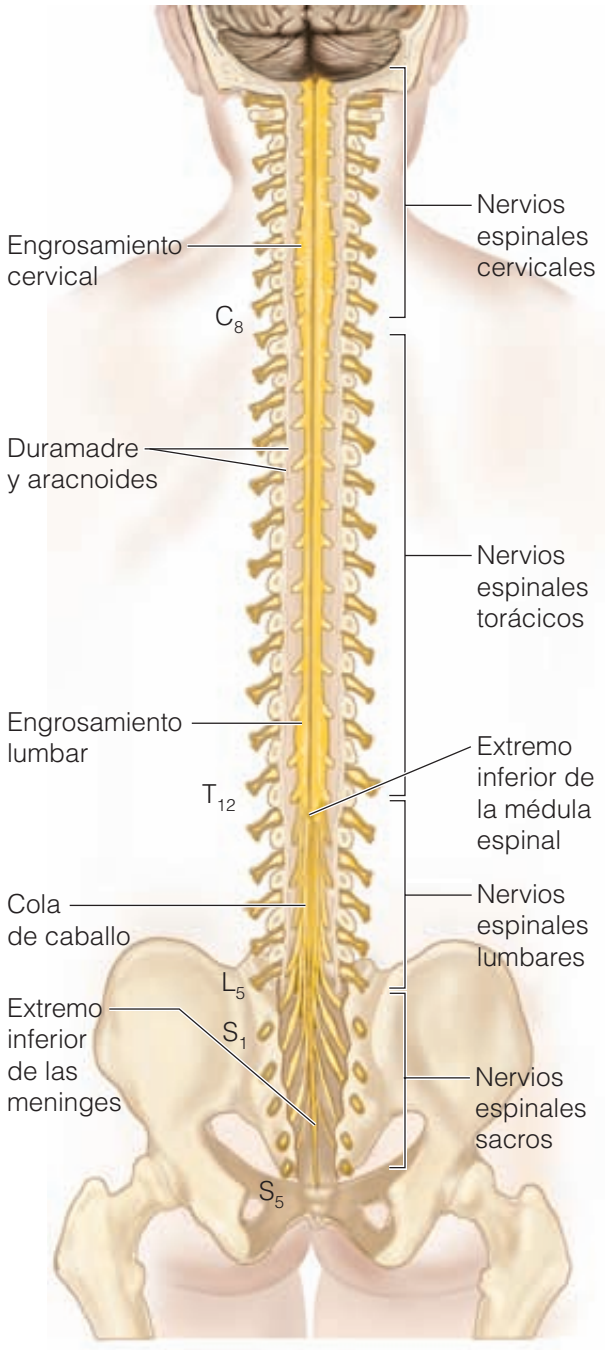


FIGURA 7.20 Anatomía de la médula espinal, vista posterior.

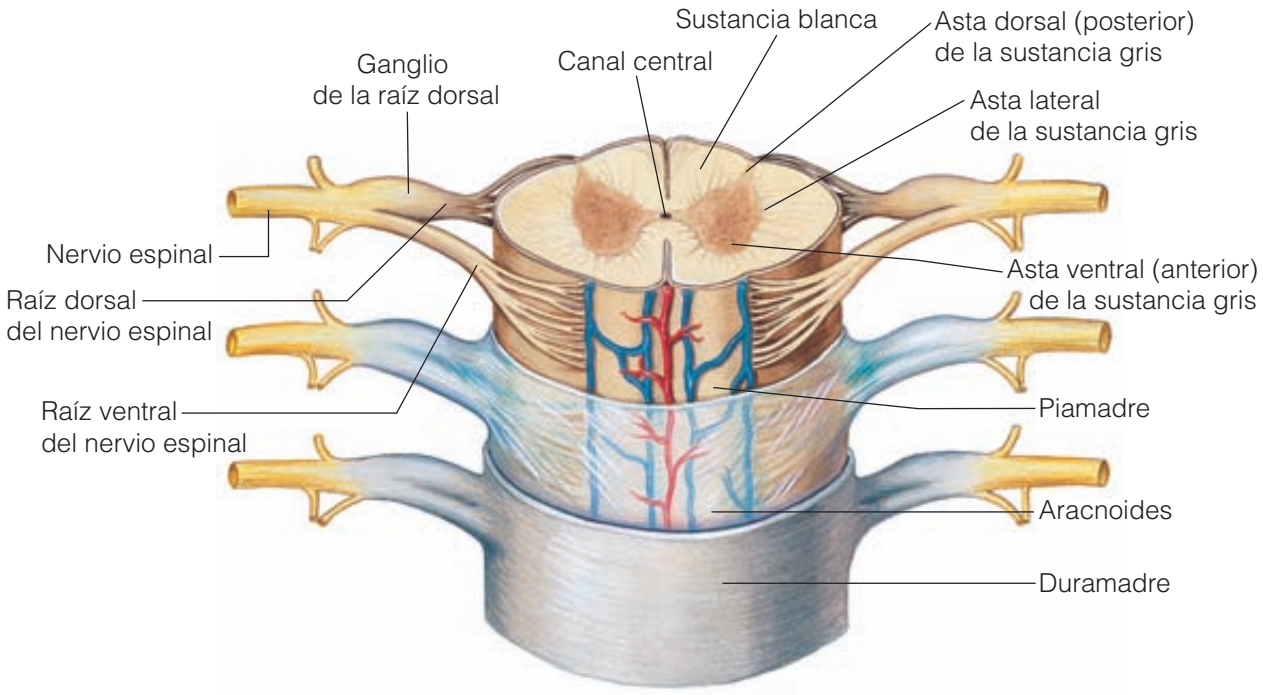


FIGURA 7.21 **Médula espinal con las meninges (vista tridimensional).**

la médula espinal no llega al final de la columna vertebral, y los nervios espinales del extremo inferior tienen que recorrer cierta distancia dentro del canal vertebral antes de salir. Este conjunto de nervios espinales del extremo inferior del canal vertebral se denomina **cola de caballo,** porque esa es su apariencia.

Sustancia gris de la médula espinal y raíces medulares

En un corte transversal, la sustancia gris de la médula espinal se parece a una mariposa o a la letra "H" (Figura 7.21). Las dos barras alargadas posteriores son las **astas dorsales** o **posteriores;** las dos anteriores son las **astas ventrales** o **anteriores.** La sustancia gris rodea el **canal central** de la médula, que contiene CFS.

En la sustancia gris se encuentran neuronas con funciones específicas. Las astas posteriores contienen interneuronas. Los somas de las neuronas sensitivas, cuyos axones penetran en la médula por la **raíz dorsal,** se encuentran en una zona engrosada llamada **ganglio de la raíz dorsal.** Cuando la raíz o el ganglio dorsales sufren una lesión, se pierde la sensibilidad en el área corporal inervada por esa raíz. Las astas ventrales de la sustancia gris contienen los somas de las neuronas motoras del sistema nervioso somático (voluntario) y los axones abandonan la médula por la **raíz ventral.** Las raíces dorsales y ventrales se unen para formar los **nervios espinales.**

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las lesiones de la raíz ventral causan una **parálisis flácida** de los músculos a los que inervan. En las parálisis flácidas los músculos afectados no reciben impulsos nerviosos: por este motivo esos músculos no pueden moverse voluntariamente y sufren una atrofia progresiva por la ausencia de estimulación. ▲

Sustancia blanca de la médula espinal

La sustancia blanca de la médula espinal está compuesta de haces nerviosos mielinizados, algunos en camino hacia los centros superiores, mientras que otros transportan los impulsos de uno a otro lado de la médula espinal (Figura 7.22).

La forma irregular de la sustancia gris condiciona que la sustancia blanca de cada lado de la médula se pueda dividir en tres regiones, las **columnas dorsales, laterales** y **ventrales.** Cada una de las columnas contiene varios haces, compuestos por axones que comparten destino y función. Los haces que conducen los impulsos sensitivos hacia el encéfalo son los *haces sensitivos* o *aferentes*. Los que transportan los impulsos del encéfalo a los músculos esqueléticos son los

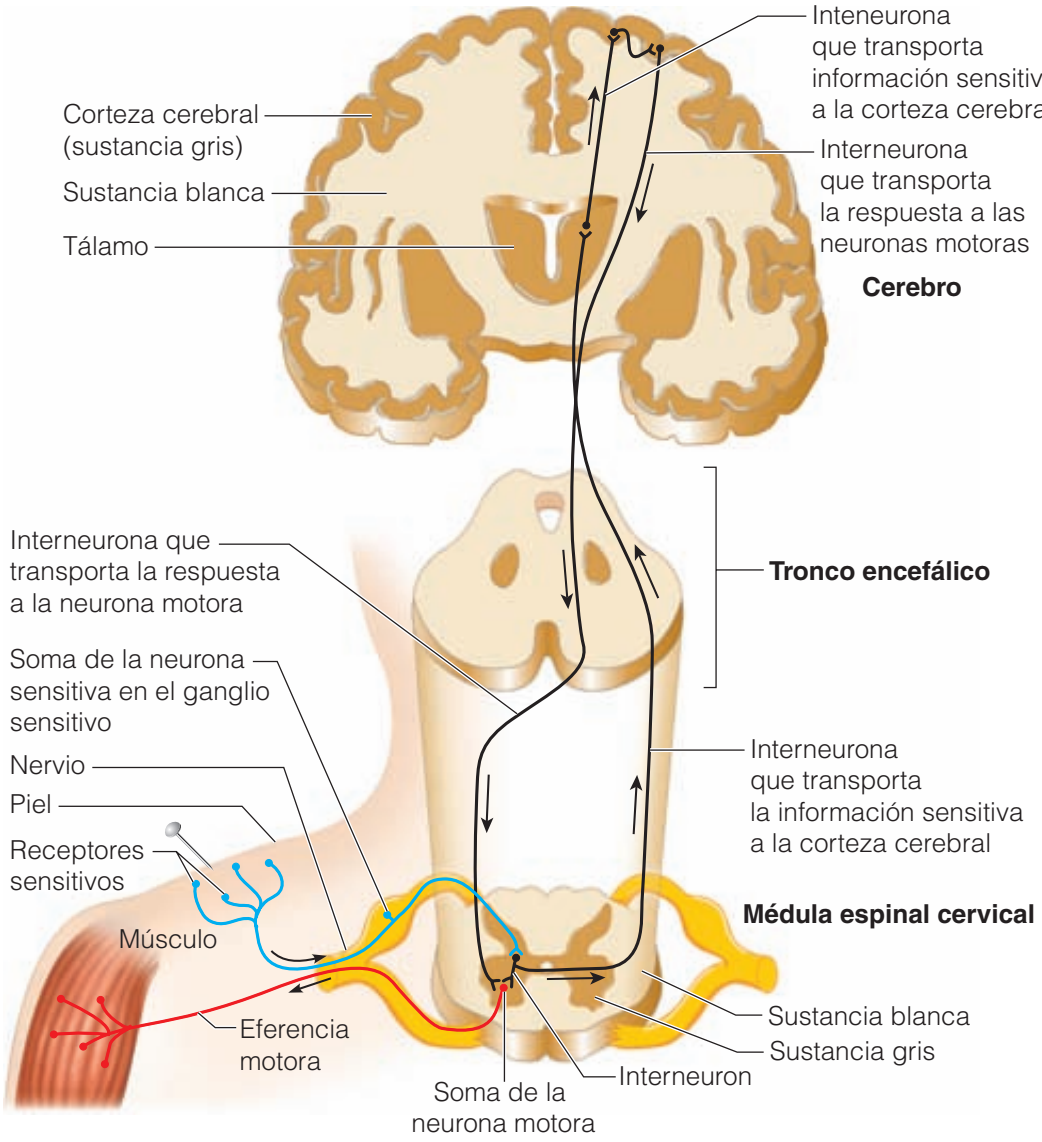


FIGURA 7.22 **Esquema de las vías ascendentes (sensitivas) y descendentes (motoras) existentes entre el encéfalo y la médula espinal.**

haces motores o *eferentes*. Todos los haces de las columnas dorsales son haces ascendentes que transportan las aferencias sensitivas hacia el encéfalo. Los haces laterales y ventrales contienen haces (motores) ascendentes y descendentes.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si la médula espinal sufre una sección transversa (corte horizontal) o un aplastamiento, el resultado es una **parálisis espástica.** Los músculos no se afectan porque siguen recibiendo la estimulación de los arcos reflejos medulares, por lo que sí hay movimiento en esos músculos. No obstante, los movimientos son involuntarios e incontrolados, lo que puede ser tan problemático como la inmovilidad total. Además, como la médula espinal transporta impulsos sensitivos y motores, aparece una pérdida de sensibilidad en las áreas del organismo por debajo del punto en que la médula ha sido destruida. Los médicos utilizan habitualmente un alfiler para valorar si una persona siente el dolor y así descubrir si existe regeneración. El dolor es una señal esperanzadora en esos casos. Cuando la lesión está en un punto alto de la médula espinal, las cuatro

extremidades resultan afectadas: este cuadro se denomina *tetraplejia*. En el caso de que sólo se paralicen las piernas, se dice que la persona padece una *paraplejia*. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

21. ¿Cuál es el contenido de la sustancia gris de la médula espinal?
22. ¿Qué haces de la médula espinal son sensitivos, los ascendentes o los descendentes?
23. ¿Por qué se llama "cola de caballo" a los nervios del final de la médula espinal?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Sistema nervioso periférico

El **sistema nervioso periférico (PNS)** está compuesto por nervios y grupos diseminados de somas neuronales (ganglios) que se encuentran fuera del CNS. Ya se ha explicado uno de los tipos de ganglios, el ganglio de la raíz dorsal de la médula espinal. Otros se abordarán en el apartado del sistema nervioso autónomo. En este punto sólo se tratarán los nervios.

Estructura del nervio

Como se mencionó anteriormente en este capítulo, un **nervio** es un conjunto de prolongaciones neuronales situado fuera del CNS. Dentro de cada nervio, las prolongaciones neuronales (o fibras nerviosas) están envueltas por cubiertas protectoras de tejido conectivo. Cada fibra está rodeada por una delicada vaina de tejido conectivo, el **endoneuro.** Otra capa de tejido conectivo más grueso, el **perineuro,** rodea a un grupo de fibras, formando así los fascículos (conjuntos de fibras). Por último, el **epineuro** (vaina fibrosa y dura) agrupa a todos los fascículos y así se forma el nervio, similar a un cordón (Figura 7.23).

Al igual que sucede con las neuronas, los nervios se clasifican según la dirección en la que transmiten los impulsos. A los nervios que contienen fibras motoras y sensitivas se les denomina **nervios mixtos;** todos los nervios espinales son mixtos. A los nervios que sólo transportan impulsos hacia el CNS se les llama **nervios sensitivos** o **aferentes,** mientras que los que sólo contienen fibras motoras son **nervios motores** o **eferentes.**

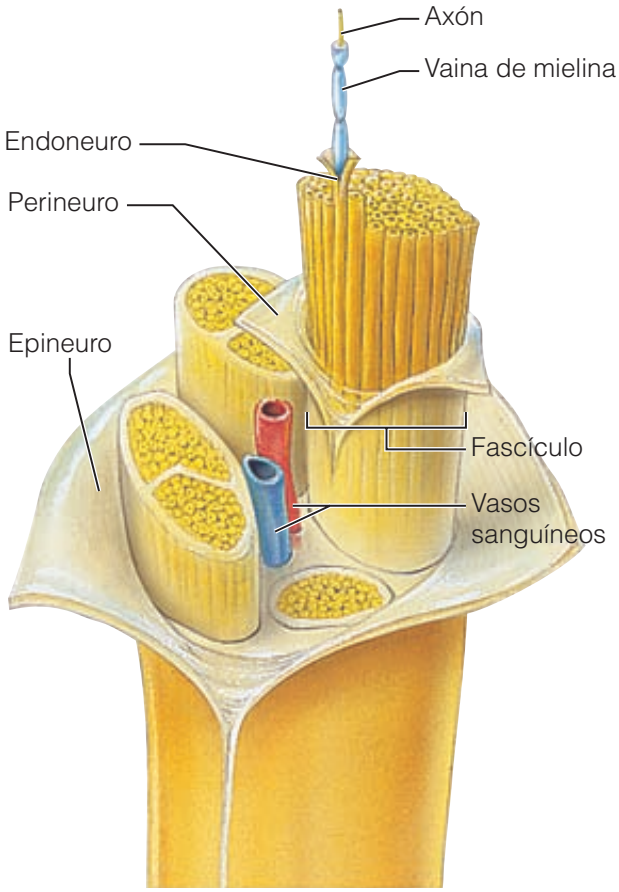


FIGURA 7.23 Estructura de un nervio. Vista tridimensional de un nervio con sus cubiertas de tejido conectivo.

Pares craneales

Las 12 parejas de **pares craneales** abastecen básicamente a la cabeza y el cuello. Sólo una pareja (nervio vago) se distribuye por el tórax y el abdomen.

Los pares craneales están numerados en orden y en la mayoría de los casos su nombre revela las estructuras más importantes que controlan. La Tabla 7.1 describe el nombre, el número, el recorrido y la función principal de los pares craneales. La última columna de la tabla explica cómo se comprueba la función de los pares craneales, una parte clave de la exploración neurológica. No hace falta memorizar estos datos, pero esa información es útil para entender la función de los pares craneales. Al leer la tabla es conveniente observar la Figura 7.24, que muestra la situación de los pares craneales en la superficie anterior del encéfalo.

TABLA 7.1 Pares craneales

Nombre/número	Origen/recorrido	Función	Exploración
I. Olfativo	Las fibras parten de los receptores olfativos de la mucosa nasal y hacen sinapsis con los bulbos olfativos (que, a su vez, envían las fibras a la corteza olfativa)	Sensitivo puro; transporta los impulsos del sentido del olfato	Se pide a la persona que huela e identifique sustancias aromáticas, como esencia de vainilla o de ajos
II. Óptico	Las fibras parten de la retina y forman el nervio óptico. Los dos nervios ópticos forman el quiasma óptico cruzando parte de sus fibras; las fibras continúan hasta la corteza visual (vía óptica)	Sensitivo puro; transporta los impulsos de la vista	La vista y el campo visual se exploran con una tabla optométrica y comprobando en qué punto ve por primera vez la persona un objeto (dedo del explorador) que se mueve en el campo visual; el interior del ojo se explora con un oftalmoscopio
III. Motor ocular común (oculomotor)	Las fibras discurren entre el mesencéfalo y el ojo	Proporciona la inervación motora a cuatro de los seis músculos (rectos superior, inferior y medial, y oblicuo inferior) que mueven el ojo, el párpado y los músculos internos del ojo que controlan la forma del cristalino y el tamaño pupilar	Se explora el tamaño y la forma pupilares, comparando las dos pupilas; el reflejo pupilar se explora con una linterna (constricción de las pupilas con la luz); también se explora la convergencia ocular y el seguimiento de objetos en movimiento
IV. Patético (troclear)	Las fibras discurren entre el mesencéfalo y el ojo	Proporciona la inervación motora de un músculo externo del ojo (el oblicuo superior)	Se explora igual que el III par, valorando el seguimiento de objetos en movimiento
V. Trigémino	Las fibras parten de la protuberancia y forman tres ramas que terminan en la cara	Transporta los impulsos sensitivos de la piel de la cara y las mucosas nasal y oral; también lleva fibras motoras que activan los músculos de la masticación	La sensibilidad al dolor, el tacto y la temperatura se exploran con un alfiler y con objetos fríos y calientes; el reflejo corneal, con un trocito de algodón; la rama motora se explora pidiendo al sujeto que abra la boca contra resistencia y mueva la mandíbula de un lado a otro
VI. Motor ocular externo *(abducens)*	Las fibras parten de la protuberancia y terminan en el ojo	Proporciona la inervación motora del músculo recto lateral, que gira el ojo hacia afuera	Se explora del mismo modo que el III par, valorando el movimiento ocular hacia afuera (en los dos ojos)

TABLA 7.1 Pares craneales *(continuación)*

Nombre/número	Origen/recorrido	Función	Exploración
VII. Facial	Las fibras parten de la protuberancia y terminan en la cara	Activa los músculos de la expresión facial y las glándulas lacrimales y salivares; transporta los impulsos sensitivos de los corpúsculos gustativos de la parte anterior de la lengua	Se explora la sensibilidad gustativa en los dos tercios anteriores de la lengua con sustancias dulces, saladas, ácidas y amargas; se pide al sujeto que cierre los ojos, silbe, etc.; el lagrimeo se explora con amoniaco
VIII. Vestibulococlear (auditivo o estatoacústico)	Las fibras discurren desde los receptores del equilibrio y auditivos en el oído interno hasta el tronco encefálico	Sensitivo puro; la rama vestibular transmite los impulsos del sentido del equilibrio y la rama coclear conduce los impulsos del sentido del oído	La audición se explora mediante la conducción aérea y ósea, con un diapasón
IX. Glosofaríngeo	Las fibras nacen en el bulbo y terminan en la garganta	Proporciona las fibras motoras a la faringe (garganta) que activan la deglución y la producción de saliva; transporta los impulsos sensitivos desde los corpúsculos gustativos de la parte posterior de la lengua y de los receptores de presión de la arteria carótida	Se exploran los reflejos de la deglución y la náusea; se pide al sujeto que habla y tosa; en ocasiones se explora la sensibilidad gustativa de la parte posterior de la lengua
X. Vago (neumogástrico)	Las fibras nacen en el bulbo y descienden hasta el tórax y el abdomen	Las fibras transportan los impulsos sensitivos y motores desde y hacia la faringe, la laringe y los órganos torácicos y abdominales; la mayoría de las fibras son fibras parasimpáticas que promueven la actividad del digestivo y regulan la actividad cardiaca	Se explora del mismo modo que el IX par craneal, porque ambos inervan a los músculos de la garganta
XI. Espinal (accesorio)	Las fibras parten del bulbo y la médula espinal (zona superior) y terminan en ciertos músculos del cuello y la espalda	Las fibras son casi todas motoras y activan los músculos esternocleidomastoideo y trapecio	Se explora la fuerza de los músculos esternocleidomastoideo y trapecio pidiendo al sujeto que gire la cabeza y se encoja de hombros contra resistencia
XII. Hipogloso	Las fibras discurren entre el bulbo y la lengua	Las fibras motoras controlan los movimientos de la lengua; las fibras sensitivas transportan impulsos desde la lengua	Se pide al sujeto que saque la lengua y se observan posibles anomalías en la posición de ésta

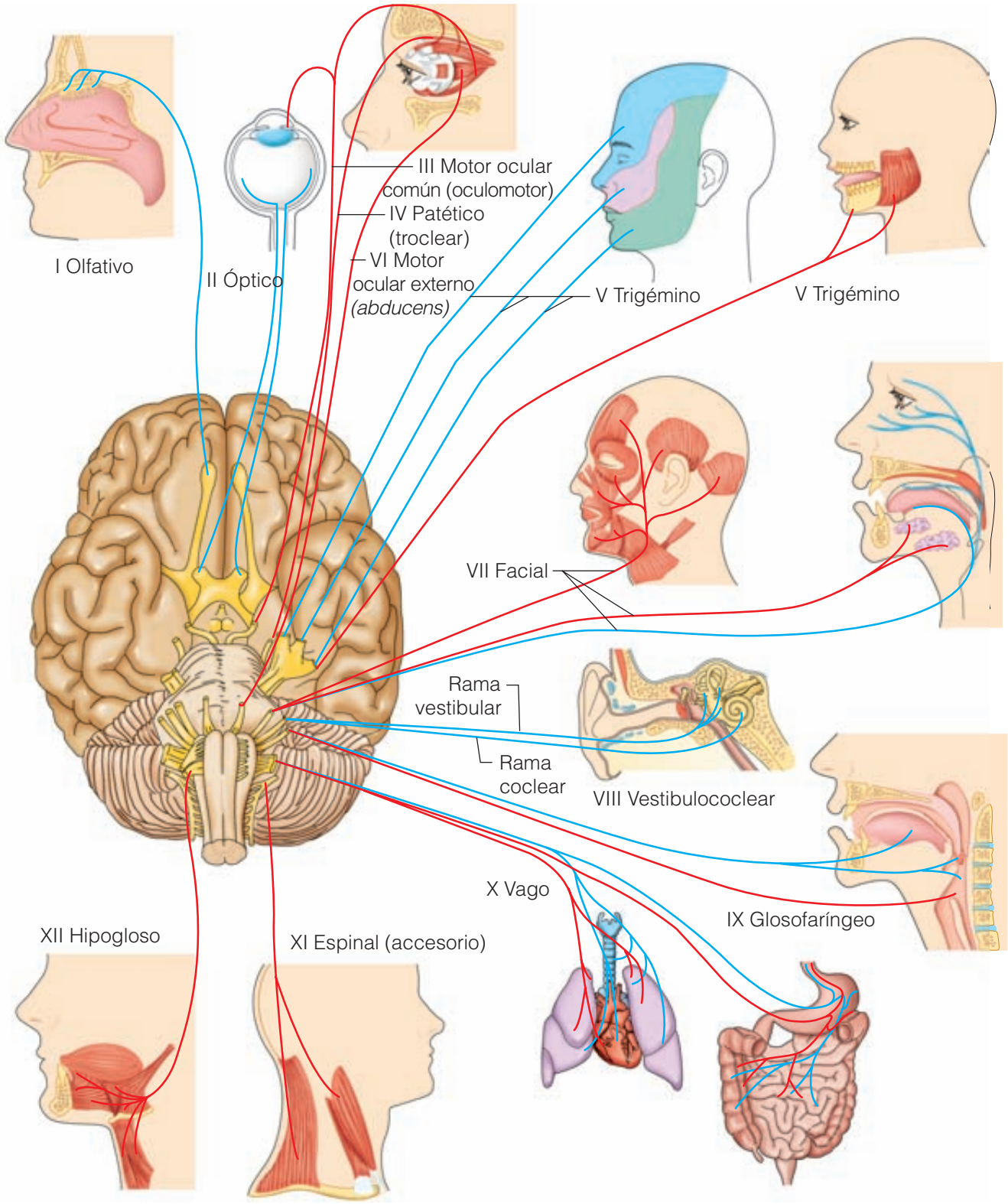


FIGURA 7.24 **Distribución de los pares craneales.** Los nervios sensitivos se muestran en color azul y los motores en rojo. Los pares craneales III, IV y VI sí tienen fibras sensitivas, pero están dibujados en rojo porque las fibras sensitivas sólo representan una mínima parte de esos pares.

Todos los pares craneales son nervios mixtos excepto tres que son únicamente sensitivos: el nervio óptico, el olfatorio y el nervio vestíbulo-coclear (el nombre anterior del nervio vestíbulo-coclear era *nervio acústico*, que revela su papel en la audición pero no en el equilibrio). A los estudiantes les puede resultar útil memorizar una frase que funciona como regla mnemotécnica para aprenderse los pares craneales en orden. La primera letra de cada palabra es la primera letra del par craneal: **o**h, **o**h, **m**amá, **p**apá **t**iene **m**ini **f**alda, **v**en, **g**írate, **v**erás **e**l **h**allazgo.

Nervios espinales y plexos nerviosos

Los 31 pares de **nervios espinales** de los seres humanos están formados por la unión de las raíces ventrales y dorsales de la médula espinal. Los pares craneales, que nacen del encéfalo, tienen cada uno su propio nombre, pero los nervios espinales reciben el nombre de la región medular de la que surgen. La Figura 7.25 muestra los nombres de los nervios de acuerdo con este esquema.

Cada nervio espinal se divide en un **ramo dorsal** y un **ramo ventral** muy poco después de su nacimiento; realmente, los nervios espinales sólo miden medio centímetro. Los ramos, al igual que los nervios espinales, contienen fibras motoras y sensitivas. Por este motivo, la lesión de un nervio espinal o de cualquiera de sus dos ramos provoca una pérdida de sensibilidad y una parálisis flácida en el área corporal en cuestión. Los ramos dorsales, más pequeños, inervan la piel y los músculos de la espalda. Los ramos ventrales de los nervios espinales T_1 hasta T_{12} forman los *nervios intercostales*, que se distribuyen por los músculos situados entre las costillas y la piel y los músculos de la parte anterior y lateral del tronco. Los ramos ventrales de todos los demás nervios espinales forman complejas redes de nervios llamadas **plexos,** que proveen las necesidades motoras y sensitivas de las cuatro extremidades. Los cuatro plexos nerviosos están descritos en la Tabla 7.2; la Figura 7.26 muestra tres de los cuatro plexos.

¿LO HAS ENTENDIDO?

24. ¿Dónde está el epineuro?
25. ¿Cuál es el único par craneal que se ocupa de estructuras situadas fuera de la cabeza y el cuello?
26. ¿Qué es un plexo nervioso?
27. Ramón siente un dolor terrible en la nalga, el muslo y la pierna izquierdas. Le han dicho que padece una ciática. ¿Cuál es el nervio espinal implicado? ¿A qué plexo pertenece?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Sistema nervioso autónomo

El **sistema nervioso autónomo (ANS)** es la subdivisión motora del PNS que controla automáticamente las funciones corporales. Está compuesto por grupos de neuronas especializadas que regulan el músculo cardiaco (el corazón), el músculo liso (presente en las paredes de las vísceras y los vasos sanguíneos) y las glándulas. Aunque todos los sistemas corporales contribuyan a la homeostasis, la relativa estabilidad de nuestro medio interno depende en gran medida de las acciones del ANS. Las vísceras envían señales continuamente al CNS, y los nervios autónomos realizan los ajustes necesarios para respaldar las funciones corporales del mejor modo posible. Por ejemplo, el flujo sanguíneo se deriva a zonas más "necesitadas", la respiración y el latido cardiaco se aceleran o se enlentecen, las secreciones del estómago aumentan o disminuyen. La mayor parte de este preciso ajuste tiene lugar sin ser conscientes de ello ni prestarle ninguna atención: muy pocas personas se dan cuenta del momento en que se dilatan sus pupilas o disminuye el calibre de sus arterias; por este motivo, al ANS también se le denomina **sistema nervioso involuntario,** como se mencionó al principio del capítulo.

Diferencias entre el sistema nervioso autónomo y el sistema nervioso somático

La descripción previa de los nervios de la división motora (eferente) del PNS se ha centrado en el sistema nervioso somático, la subdivisión del PNS que controla los músculos esqueléticos. Así pues, antes de empezar con la anatomía del sistema nervioso autónomo, nos detendremos brevemente en las importantes diferencias entre las subdivisiones somática y autónoma del PNS.

Además de en los órganos efectores y los neurotransmisores empleados, también se diferencian en el patrón de las vías motoras. En la división somática, los somas de las neuronas motoras están dentro del CNS, y sus axones (en los nervios espinales) recorren todo el camino hasta los músculos esqueléticos a los que inervan. Sin embargo, el sistema nervioso autónomo tiene *dos* neuronas motoras en cadena. La primera neurona motora de cada par está situada en el encéfalo o en la médula espinal. Su axón, el **axón preganglionar** (literalmente, "axón antes del ganglio") sale del CNS y hace sinapsis con la segunda neurona motora en un ganglio situado fuera del CNS. El axón de esta segunda neurona, o **axón postganglionar,** se encamina

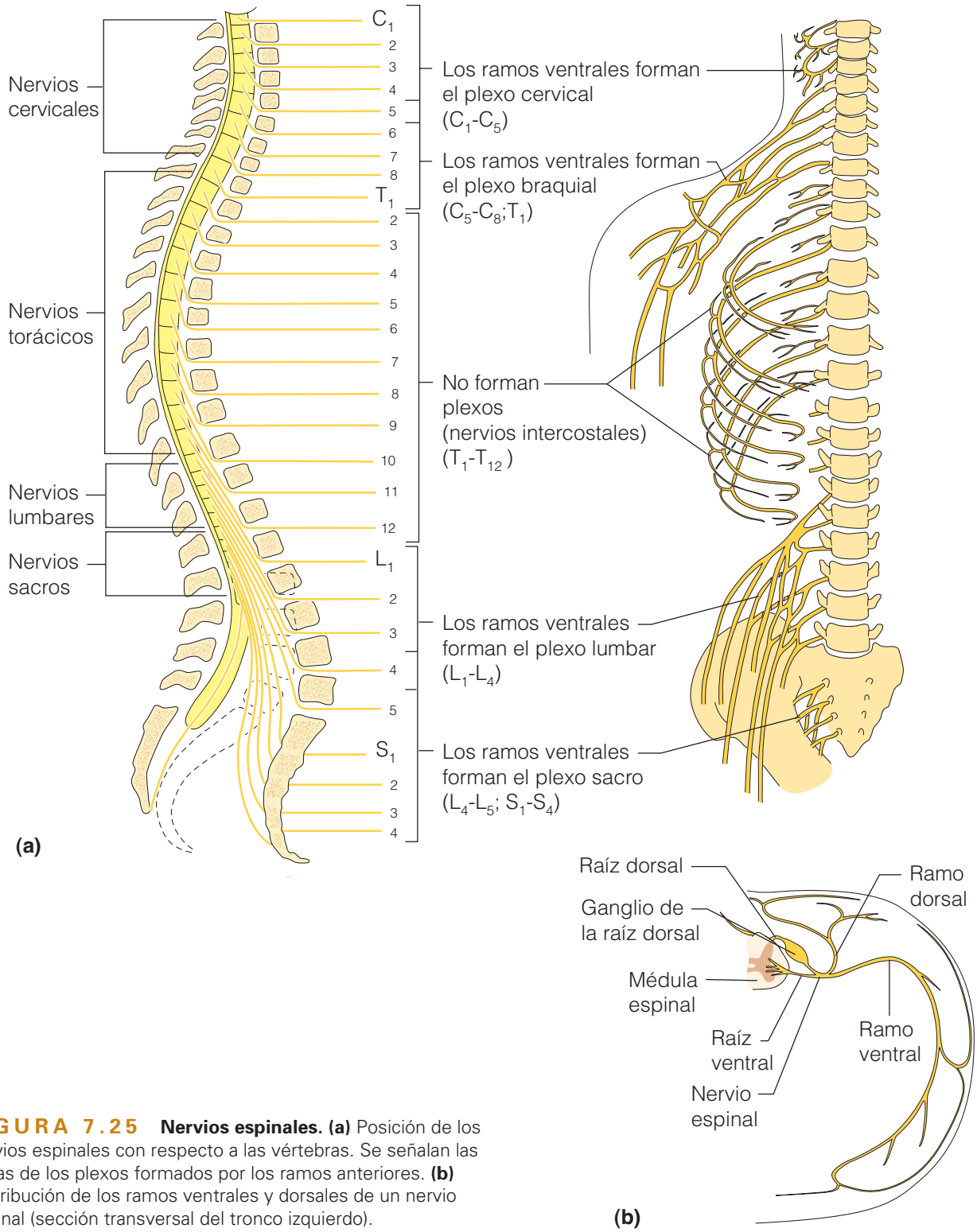


FIGURA 7.25 **Nervios espinales. (a)** Posición de los nervios espinales con respecto a las vértebras. Se señalan las zonas de los plexos formados por los ramos anteriores. **(b)** Distribución de los ramos ventrales y dorsales de un nervio espinal (sección transversal del tronco izquierdo).

TABLA 7.2 Plexos de los nervios espinales

Plexo	Origen (de los ramos ventrales)	Nervios importantes	Área de distribución	Consecuencia de la lesión del plexo o de sus nervios
Cervical	C_1-C_5	Frénico	Diafragma; piel y músculos del hombro y el cuello	Parálisis respiratoria (y muerte si no se trata inmediatamente)
Braquial	C_5-C_8 and T_1	Axilar	Músculo deltoides y piel del hombro; músculos y piel de la parte superior del tórax	Parálisis y atrofia del músculo deltoides
		Radial	Tríceps y músculos extensores del antebrazo; piel de la parte posterior de la extremidad superior	Mano péndula o caída; no se extiende la mano con respecto a la muñeca
		Mediano	Músculos flexores y piel del antebrazo y algunos músculos de la mano	Dificultad de flexionar y abducir la mano y flexionar y abducir el pulgar y el índice, por lo tanto, no es posible coger objetos pequeños
		Musculocutáneo	Músculos flexores del brazo; piel de la parte lateral del antebrazo	Dificultad para flexionar el antebrazo sobre el brazo
		Cubital	Algunos músculos flexores del antebrazo; muñeca y muchos músculos de la mano; piel de la mano	Mano en garra, no es posible separar los dedos
Lumbar	L_1-L_4	Femoral (o crural, incluye los ramos cutáneos laterales y anteriores)	Abdomen inferior, músculos de la parte anterior y medial del muslo (flexores de la cadera y extensores de la rodilla), y piel de la parte anteromedial de la pierna y del muslo	No es posible extender la pierna ni flexionar la cadera; ausencia de sensibilidad cutánea
		Obturador	Músculos adductores de la cara medial del muslo y pequeños músculos de la cadera; piel de la cara medial del muslo y la articulación de la cadera	No es posible adducir el muslo
Sacro	L_4-L_5 y S_1-S_4	Ciático (el nervio más grueso del organismo; se divide en dos nervios, peroneo común –o ciático poplíteo externo– y tibial –o ciático poplíteo interno–, poco antes de llegar a la rodilla)	Parte inferior del tronco y superficie posterior de la cadera (extensores de la cadera y flexores de la rodilla)	No es posible extender la cadera ni flexionar la pierna; ciática
		• Peroneo común (ramos superficiales y profundos)	Parte lateral de la pierna y el pie	Pie caído; no es posible la flexión dorsal del pie
		• Tibial (incluyendo el nervio sural y los ramos plantares)	Parte posterior de la pierna y el pie	No es posible la flexión plantar ni la inversión del pie; marcha arrastrando los pies
		Glúteo superior e inferior	Músculos glúteos de la cadera	No es posible extender la cadera (músculo glúteo mayor) ni abducir y rotar medialmente el muslo (glúteo medio)

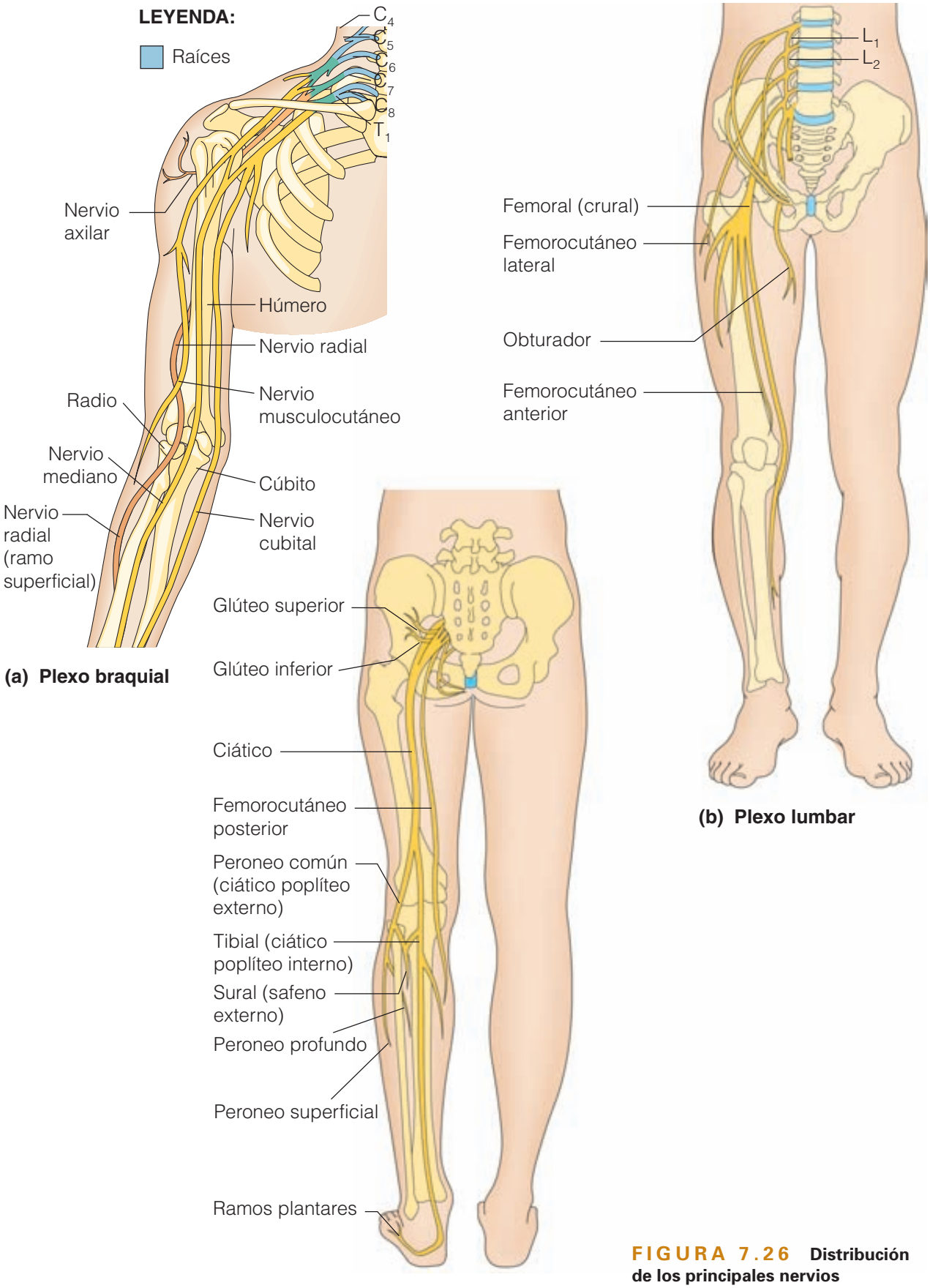


FIGURA 7.26 **Distribución de los principales nervios periféricos de las extremidades.**

La transmisión de los impulsos nerviosos a lo largo de las vías del ANS es por lo general mucho más lenta que en los axones somáticos. ¿Por qué?

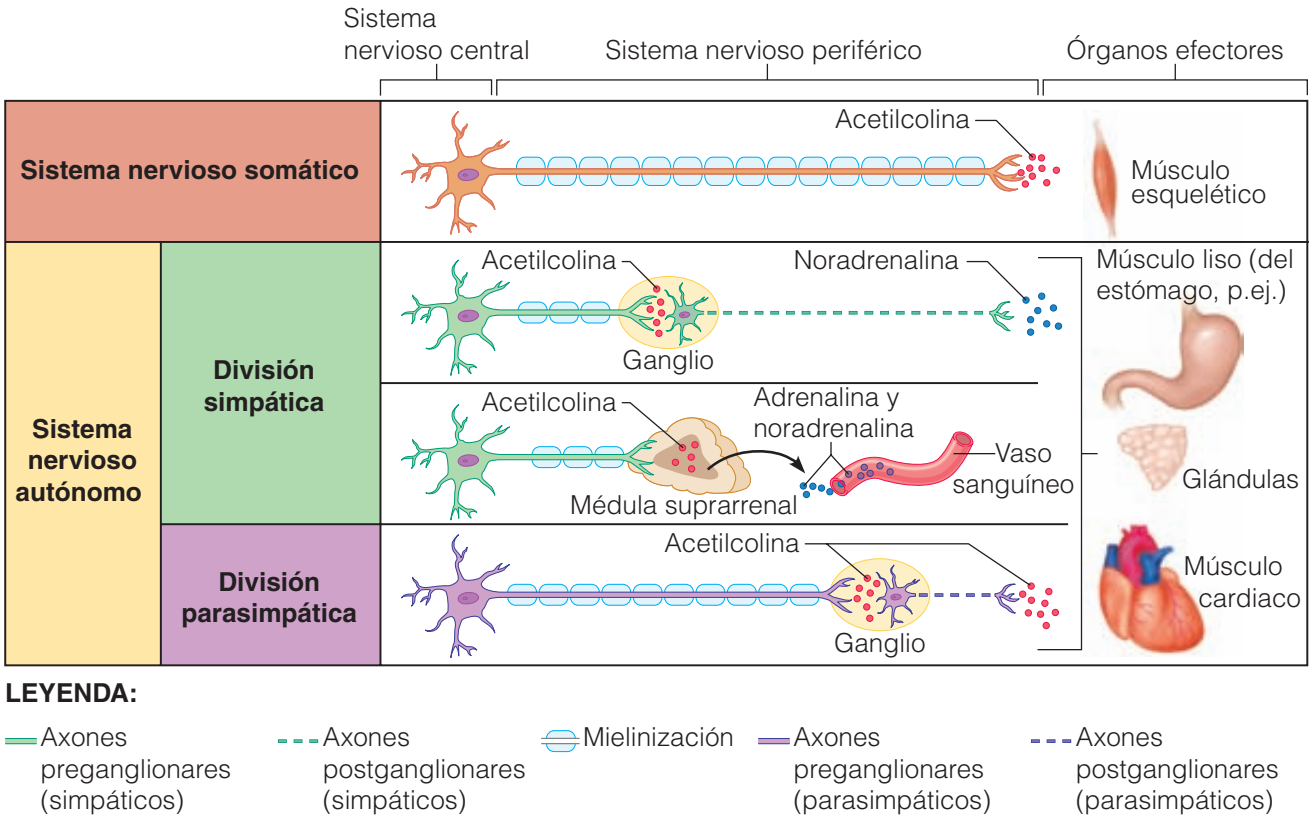


FIGURA 7.27 **Diferencias entre el sistema nervioso somático y el autónomo.**

hasta el órgano en cuestión. Estas diferencias están resumidas en la Figura 7.27.

El sistema nervioso autónomo tiene dos brazos, el simpático y el parasimpático (Figura 7.28). Ambos se ocupan de los mismos órganos pero provocan básicamente efectos contrarios, actuando cada uno como el contrapeso del otro para que los sistemas corporales funcionen sin problemas. La **división simpática** activa el organismo en situaciones extremas (como el miedo, el ejercicio o la rabia), mientras que la **división parasimpática** nos permite "relajarnos" y conservar la energía. Estas diferencias se explicarán con más detalle en breve, pero en primer lugar se considerarán las características estructurales de las dos divisiones del ANS.

Los axones postganglionares del ANS son amielínicos, por lo que conducen los impulsos con menor velocidad que los axones mielinizados típicos de los nervios somáticos.

Anatomía de la división parasimpática

Las neuronas preganglionares de la división parasimpática están situadas en los núcleos encefálicos de varios pares craneales, el III, VII, IX y X (el vago es el más importante de éstos) y en los niveles S_2 a S_4 de la médula espinal (véase la Figura 7.28). Por este motivo, a la división parasimpática también se la denomina *división craneosacra*. Los axones de las neuronas de la región craneal están incluidos en los pares craneales y se ocupan de las estructuras de la cabeza y el cuello. En estos lugares hacen sinapsis con la neurona motora ganglionar en el **ganglio terminal.** Desde el ganglio terminal, el axón postganglionar recorre una corta distancia hasta alcanzar el órgano al que inerva. En la región sacra, los axones preganglionares salen de la médula espinal y forman los *nervios pélvicos es-*

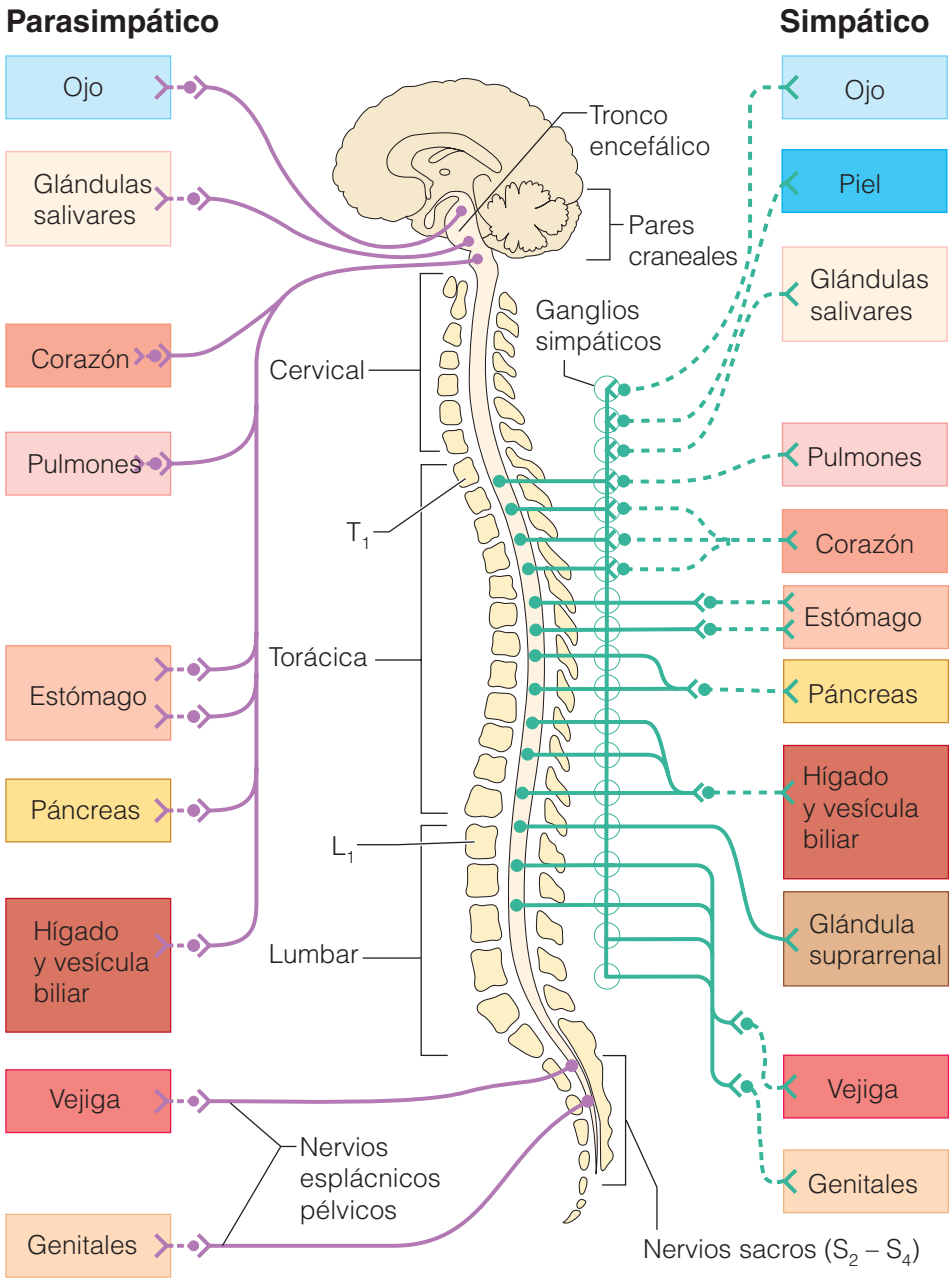


FIGURA 7.28 **Anatomía del sistema nervioso autónomo.** Las fibras parasimpáticas se muestran en color morado, las simpáticas en verde. Las líneas continuas representan las fibras preganglionares, las líneas discontinuas indican fibras postganglionares.

plácnicos, también llamados *nervios pélvicos*, que alcanzan la cavidad pélvica. Allí, los axones preganglionares hacen sinapsis con las segundas neuronas motoras en los ganglios terminales, en las proximidades de los órganos a los que inervan o dentro de esos mismos órganos.

Anatomía de la división simpática

La división simpática también se denomina *división toracolumbar* porque sus neuronas preganglionares están situadas en la sustancia gris de la médula espinal, desde T_1 a L_2 (véase la Figura 7.28). Los axones preganglionares salen de la médula por la raíz ven-

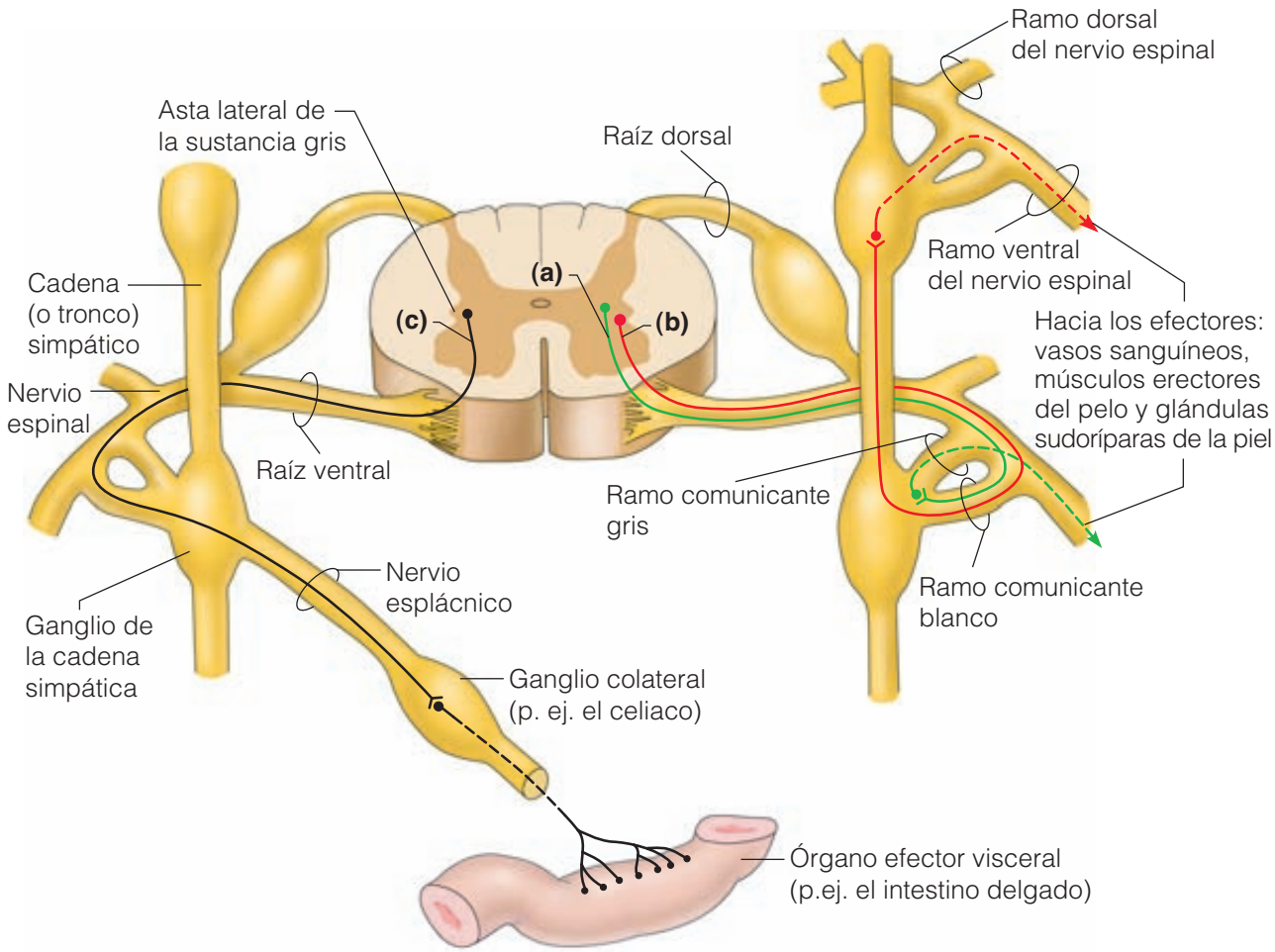


FIGURA 7.29 **Vías simpáticas. (a)** Sinapsis en un ganglio de la cadena simpática del mismo nivel. **(b)** Sinapsis en un ganglio de la cadena simpática de un nivel distinto. **(c)** Sinapsis en un ganglio colateral, anterior a la columna vertebral.

tral, se incorporan el nervio espinal y a continuación atraviesan el **ramo comunicante** (una pequeña rama conectora) para alcanzar un **ganglio** de la **cadena simpática.** El **tronco** o **cadena simpática** está situado a ambos lados de la columna vertebral. Una vez que alcanza el ganglio, el axón hace sinapsis con la segunda neurona (ganglionar) en la cadena simpática en el mismo nivel o en otro diferente (en este caso el axón postganglionar entra de nuevo en el nervio espinal para llegar finalmente a la piel), o bien el axón puede atravesar el ganglio sin hacer sinapsis y formar parte de los **nervios esplácnicos.** Los nervios esplácnicos se encaminan a los órganos y hacen sinapsis en la neurona ganglionar, situada en el **ganglio colateral,** anterior a la columna vertebral. Los principales ganglios colaterales (el ganglio celiaco y los ganglios mesentéricos superior e inferior) abastecen a los órganos abdominales y pélvicos. El axón postganglionar sale del ganglio colateral y llega hasta una víscera cercana.

Una vez descrita la anatomía, se pasará a explicar las funciones del ANS con más detalle.

Funcionamiento autónomo

Los órganos corporales inervados por el sistema nervioso autónomo reciben fibras nerviosas de ambas divisiones. Las excepciones son la mayor parte de los vasos sanguíneos y la mayoría de las estructuras de la piel, algunas glándulas y la médula suprarrenal, que sólo reciben fibras simpáticas (Tabla 7.3). Cuando am-

TABLA 7.3 Efectos de las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso autónomo

Sistema/órgano	Efectos del parasimpático	Efectos del simpático
Sistema digestivo	Aumenta la movilidad del músculo liso (peristalsis) y las secreciones de las glándulas digestivas; relaja los esfínteres	Disminuye la actividad del sistema digestivo y contrae los esfínteres del sistema digestivo(p. ej. esfínter anal)
Hígado	Sin efecto	Provoca que se libere glucosa a la sangre
Pulmones	Contrae los bronquiolos	Dilata los bronquiolos
Vejiga urinaria/uretra	Relaja esfínteres (permite la micción)	Contrae los esfínteres (impide la micción)
Riñones	Sin efecto	Disminuye la diuresis (orina eliminada)
Corazón	Disminuye la frecuencia cardiaca; enlentece y calma	Aumenta la velocidad y la fuerza del latido cardiaco
Vasos sanguíneos	Sin efecto sobre la mayoría de los vasos sanguíneos	Vasoconstricción en vísceras y piel (vasodilatación en músculos esqueléticos y corazón); aumenta la presión arterial
Glándulas salivares, gástricas	Estimula; aumenta la producción de saliva, lágrimas y jugos gástricos	Inhibe; resultado: boca, lacrimales y seca y ojos secos
Ojo (iris)	Estimula los músculos constrictores; contrae las pupilas	Estimula los músculos dilatadores; dilata las pupilas
Ojo (músculo ciliar)	Estimula el aumento de la curvatura del cristalino para conseguir ver de cerca	Inhibe: disminuye la curvatura del cristalino; prepara para ver de lejos
Médula suprarrenal	Sin efecto	Estimula la secreción de noradrenalina y adrenalina por parte de las células suprarrenales
Glándulas sudoríparas de la piel	Sin efecto	Estimula; resultado: sudoración
Músculos erectores del pelo	Sin efecto	Estimula; produce la "piel de gallina"
Pene	Causa la erección por vasodilatación	Causa la eyaculación (emisión de semen)
Metabolismo celular	Sin efecto	Aumenta el metabolismo; aumenta la concentración de glucosa en la sangre; estimula la degradación de las grasas
Tejido adiposo	Sin efecto	Estimula la degradación de las grasas

bas divisiones están presentes en el mismo órgano, provocan efectos antagónicos, fundamentalmente porque los neurotransmisores liberados por los axones postganglionares son distintos (véase la Figura 7.27). Las fibras parasimpáticas, denominadas *fibras colinérgicas*, liberan acetilcolina. Las fibras simpáticas postganglionares, llamadas *fibras adrenérgicas,* liberan noradrenalina. En *ambas* divisiones, los axones preganglionares liberan acetilcolina. A continuación se explican las situaciones en las que cada división "toma el control", para destacar la función *comparada* de los dos brazos del ANS.

División simpática A la **división simpática** se la llama a menudo sistema de "lucha o huida". Su actividad es evidente cuando se está emocionado y en aquellas situaciones urgentes o que suponen una amenaza, como ser abordado por unos matones callejeros de madrugada. El corazón late fuerte, la respiración es rápida y profunda, la piel está sudorosa, se sienten hormigueos en el cuero cabelludo y las pupilas están dilatadas: todas ellas son señales inequívocas de la actividad del sistema nervioso simpático. En esas condiciones, el sistema nervioso simpático aumenta la frecuencia cardiaca, la presión sanguínea y la concentración de glucosa en la sangre, dilata los bronquiolos pulmonares y provoca muchos otros efectos que ayudan al individuo a afrontar la situación. Otros ejemplos son la dilatación de los vasos sanguíneos de los músculos esqueléticos (para correr más rápido o luchar mejor) y la retirada de la sangre de los órganos digestivos (para que la mayor parte de la sangre pueda derivarse al corazón, el encéfalo y los músculos esqueléticos).

El sistema nervioso autónomo trabaja a toda velocidad no sólo en las situaciones de tensión emocional sino también en las agresiones físicas. Por ejemplo, tras someterse a una cirugía o correr una maratón las glándulas suprarrenales (activadas por el sistema nervioso simpático) bombearán adrenalina y noradrenalina (véase la Figura 7.27). Los efectos de la activación del sistema nervioso simpático siguen presentes varios minutos después, hasta que las hormonas son destruidas por el hígado. Así pues, aunque los impulsos nerviosos simpáticos sólo actúan brevemente, los efectos hormonales que provocan sí persisten. Los amplios y prolongados efectos de la activación simpática ayudan a explicar por qué se necesita algún tiempo para "bajar" después de una situación muy agobiante.

La división simpática produce un chorro de vapor que permite al organismo afrontar rápida y vigorosamente aquellas situaciones que ponen en peligro la homeostasis. Su función es asegurar las mejores condiciones posibles para responder a una amenaza, ya sea correr, ver mejor o pensar con más claridad la mejor repuesta.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Algunos problemas médicos y ciertas enfermedades están agravadas (si no provocadas) por una estimulación excesiva del sistema nervioso simpático. Ciertos individuos, llamados "personas del tipo A", siempre trabajan a una velocidad de vértigo y continuamente se exigen más a sí mismos. Estas personas tienen más probabilidades de sufrir enfermedades cardiacas, hipertensión arterial y úlceras; todos estos problemas pueden estar causados por una prolongada actividad del sistema nervioso simpático o por los efectos de rebote de esa hiperactividad. ▲

División parasimpática La **división parasimpática** alcanza su máxima actividad cuando el organismo está en reposo y no se ve amenazado en absoluto. Esta división, a veces denominada sistema de "descanso y digestión", se ocupa principalmente de promover la digestión normal, la eliminación de heces y orina, y de conservar la energía del organismo, particularmente reduciendo las demandas del sistema cardiovascular. Un buen ejemplo de la actividad de esta división es una persona que está descansando después de comer y leyendo el periódico. La presión arterial y la frecuencia respiratoria y cardiaca se ajustan al nivel bajo normal, el sistema digestivo está digiriendo activamente los alimentos y la piel está caliente (señal de que no es necesario derivar la sangre a los músculos esqueléticos ni a los órganos vitales). Las pupilas se estrechan para proteger a las retinas del exceso de luz, que puede ser perjudicial, y los cristalinos oculares están "ajustados" para ver de cerca. A la división parasimpática también se la podría considerar el sistema "doméstico" del organismo.

Una manera sencilla de recordar las funciones más importantes de las dos divisiones del ANS es considerar la parasimpática como la división **D** (digestión, defecación y diuresis [orinar]) y la simpática como la división **E** (ejercicio, excitación, emergencia y situaciones embarazosas. Es importante recordar, no obstante, que, aunque es más sencillo considerar la actividad de las divisiones simpática y parasimpática como "todo o nada", ello casi nunca es cierto. Existe un equilibrio dinámico entre las dos divisiones y ambas realizan continuamente ajustes muy precisos. Además, aunque se ha explicado la división parasimpática como el sistema "del descanso", la mayoría de los vasos sanguíneos sólo están controlados por fibras simpáticas, independientemente de que el organismo esté "en alerta" o descansando.

La Tabla 7.3 contiene un resumen de los principales efectos de cada división.

¿LO HAS ENTENDIDO?

28. ¿Qué órganos o estructuras corporales están inervados por el sistema nervioso autónomo? ¿De cuáles se ocupa el sistema nervioso somático?
29. ¿En qué se diferencia la vía motora del sistema nervioso autónomo de la del sistema nervioso somático?
30. ¿Qué división del sistema nervioso autónomo es el sistema de "lucha o huida"?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

MÁS DE CERCA

LOCALIZACIÓN DE LOS PROBLEMAS DEL CNS

Todos los que se han sometido alguna vez a una exploración médica rutinaria están familiarizados con una de las pruebas realizadas para valorar la función nerviosa: los reflejos. El médico golpea el tendón rotuliano con un martillo especial. Los músculos del muslo se contraen y provocan la sacudida de la rodilla. Esta respuesta demuestra que la médula espinal y los centros encefálicos superiores funcionan correctamente. Cuando los reflejos son anormales o se sospecha la existencia de cáncer cerebral, hemorragia intracraneal, esclerosis múltiple o hidrocefalia, se hacen otras pruebas neurológicas más sofisticadas para intentar localizar y determinar el problema.

Un procedimiento antiguo pero muy útil para el diagnóstico y la localización de muchos tipos distintos de problemas cerebrales (como epilepsia, tumores y abscesos) es la *electroencefalografía*. Una función cerebral normal supone que las neuronas transmiten impulsos eléctricos continuamente. El registro de esa actividad, llamado **electroencefalograma** o **EEG,** se obtiene colocando electrodos en distintos puntos del cuero cabelludo y conectándolos a un aparato (véase la figura). Los trazados de la actividad eléctrica neuronal se denominan *ondas cerebrales*. Como las personas tienen distintos genes y todo lo vivido deja su impronta en el cerebro, cada individuo presenta un trazado de ondas cerebrales tan exclusivo como sus huellas digitales. La figura b muestra y describe los cuatro tipos de ondas cerebrales más frecuentes.

Como cabría esperar, los trazados de ondas cerebrales característicos del estado de vigilia y alerta son distintos de los obtenidos durante la relajación o el sueño profundo. Ondas cerebrales demasiado rápidas o demasiado lentas indican alteraciones de la función de la corteza, y la inconsciencia aparece en ambos casos. El sueño y el coma producen trazados de ondas más lentas de lo normal, mientras que el pánico, las crisis epilépticas y la sobredosis de algunos fármacos o drogas provocan trazados excesivamente rápidos. Como las ondas cerebrales se observan también en el coma, la ausencia de ondas (un EEG plano) se considera un signo de muerte clínica.

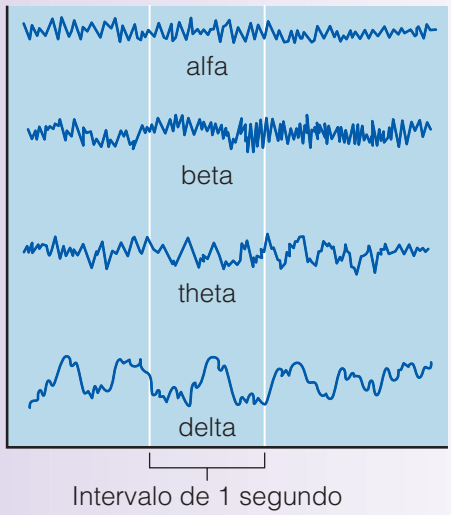
> *"Cada individuo presenta un trazado de ondas cerebrales tan exclusivo como sus huellas dactilares."*

Las nuevas técnicas de imagen descritas en el Capítulo 1 (págs. 8-9) han revolucionado el diagnóstico de las lesiones encefálicas. El **escáner,** junto con la **resonancia magnética,** permite identificar rápidamente la mayoría de los tumores, lesiones intracraneales, placas de esclerosis múltiple y áreas de tejido muerto *(infartos)*. La **tomografía por emisión de positrones,** o PET, localiza las lesiones que producen crisis epilépticas y también se está empleando para el diagnóstico de la enfermedad de Alzheimer.

Un ejemplo: un paciente llega a Urgencias con un ictus. Empieza una carrera contrarreloj para salvar el área encefálica afectada. El primer paso consiste en determinar si el ictus se debe a un coágulo o a una hemorragia mediante una prueba de imagen, generalmente un escáner. Si el ictus se debe a un coágulo, se puede utilizar tPA, un fármaco que disuelve los coágulos, pero sólo en las primeras horas. Habitualmente, el tPA se administra por vía intravenosa, pero es posible alargar su tiempo de utilidad aplicándolo directamente en el coágulo mediante un catéter. Para guiar el catéter hasta el coágulo se inyecta un contraste que hace patentes las arterias en una imagen radiológica, procedimiento denominado **angiografía cerebral.**

La angiografía cerebral también se utiliza en pacientes que han sufrido un "aviso de ictus" (accidente isquémico transitorio). Las arterias carótidas del cuello abastecen a la mayoría de los vasos encefálicos y a menudo se estrechan con la edad, lo que puede provocar ictus. La ecografía, prueba más barata y menos invasiva que la angiografía, se utiliza para examinar rápidamente las arterias carótidas e incluso para medir su flujo sanguíneo.

MÁS DE CERCA Localización de los problemas del CNS *(continuación)*



(a) **(b)**

Electroencefalografía y ondas cerebrales. (a) Para obtener un trazado de la actividad de las ondas cerebrales (EEG) se colocan electrodos en el cuero cabelludo del paciente y se conectan a un dispositivo de registro denominado electroencefalógrafo. **(b)** Tipos de ondas en un EEG: las ondas alfa son características del estado de vigilia y relajación; las ondas beta aparecen en el estado de vigilia y alerta; las ondas theta son frecuentes en niños pero no en adultos normales, y las ondas delta aparecen durante el sueño profundo.

Formación y desarrollo del sistema nervioso

Como el sistema nervioso se forma durante el primer mes del desarrollo embrionario, cualquier infección materna en la primera etapa de la gestación puede tener efectos extremadamente graves sobre el sistema nervioso del feto. Por ejemplo, la rubeola materna provoca a menudo sordera y otras lesiones del CNS. Además, el metabolismo del tejido nervioso es el mayor de todo el organismo y por eso la ausencia de oxígeno, incluso durante unos pocos minutos, provoca la muerte de neuronas. (Puesto que fumar disminuye la cantidad de oxígeno que puede transportar la sangre, una madre fumadora quizás sentencie a su hijo a sufrir una posible lesión encefálica.) La radiación y distintas drogas (alcohol, opiáceos, cocaína y otros) también pueden ser muy lesivas cuando se administran en las primeras etapas de la gestación.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En los partos difíciles, una carencia temporal de oxígeno puede provocar **parálisis cerebral,** aunque se sospecha que ésta sólo es una de las posibles causas. La parálisis cerebral es un trastorno neuromuscular en el cual los movimientos voluntarios están mal coordinados y son espásticos por la lesión encefálica. Aproximadamente la mitad de los pacientes padece crisis epilépticas, retraso mental y/o alteraciones de la audición o la vista. La parálisis cerebral es la causa única más importante de discapacidad física en los niños. El CNS también resulta afectado por muchas otras malformaciones congénitas, producidas por factores genéticos o ambientales. Las más graves son la hidrocefalia (véase la página 251), la **anencefalia** o ausencia del cerebro, cuyo resultado es un niño incapaz de oír, ver o procesar estímulos sensitivos, y la espina bífida. La **espina** (columna vertebral) **bífida** (del latín *bifídus*, partido en dos) aparece cuando la formación de una o más vértebras es incompleta (habitualmente en la región lumbosacra). Existen varios tipos. En los menos graves sólo se observa un hoyuelo y a veces también

un mechón de pelo sobre el lugar de la malformación, sin problemas neurológicos. En los más graves, las meninges, las raíces nerviosas e incluso algunas partes de la médula espinal sobresalen de la columna, anulando así la función de la parte inferior de la médula espinal. El niño no controla la defecación ni la micción, y las extremidades inferiores están paralizadas. ▲

Una de las áreas del CNS que madura más tarde es el hipotálamo, donde están situados los centros reguladores de la temperatura corporal. Por este motivo, los bebés prematuros generalmente tienen problemas para controlar la pérdida de calor corporal y deben ser vigilados estrechamente. El sistema nervioso crece y madura a lo largo de la infancia, en gran medida porque la mielinización continúa produciéndose durante todo ese periodo. Un buen indicador del alcance de la mielinización en una vía neuromuscular concreta es el grado de control neuromuscular de esa región corporal. Como se describió en el Capítulo 6, la coordinación neuromuscular progresa en una dirección craneocaudal (de superior a inferior) y de proximal a distal, y se sabe que la mielinización tiene lugar en el mismo orden.

El encéfalo alcanza su máximo peso en el adulto joven. En los 60 años siguientes las neuronas resultan dañadas y mueren. El peso y el volumen encefálicos disminuyen progresivamente. No obstante, un número ilimitado de vías nerviosas siempre está disponible y preparado para desarrollarse, hecho que nos permite seguir aprendiendo toda la vida.

A medida que avanza la edad, el sistema nervioso simpático es cada vez menos eficiente, especialmente en lo que se refiere a su efecto sobre los vasos sanguíneos (vasoconstricción). Cuando los ancianos se ponen de pie rápidamente, desde una posición tumbada o sentada, a menudo notan mareo o pierden el conocimiento. La razón es que el sistema nervioso simpático no es capaz de reaccionar con la rapidez necesaria para contrarrestar la acción de la gravedad activando las fibras vasoconstrictoras, y la sangre se acumula en los pies. Este trastorno, llamado **hipotensión ortostática,** es un tipo de hipotensión (disminución de la presión arterial) causado por los cambios de posición del cuerpo, como se ha mencionado. La hipotensión ortostática se puede prevenir en parte si los cambios de posición se hacen despacio. Esto proporciona al sistema nervioso simpático un poco más de tiempo para adaptarse y reaccionar.

Las causas más frecuentes del deterioro del sistema nervioso son los problemas del sistema circulatorio. Por ejemplo, la **arterioesclerosis** y el aumento de la presión arterial reducen el aporte de oxígeno a las neuronas encefálicas. La ausencia gradual de oxígeno motivada por el envejecimiento lleva finalmente a la **senilidad,** caracterizada por problemas de memoria, irritabilidad, dificultades de concentración y razonamiento, y menor claridad mental. La interrupción brusca del suministro de sangre y oxígeno al cerebro provoca un accidente cerebrovascular, como se explicó anteriormente (pág. 252). No obstante, muchas personas disfrutan de actividades intelectuales y trabajan en tareas mentalmente demandantes durante toda su vida. De hecho, menos del 5% de las personas mayores de 65 años muestra una verdadera senilidad.

Desafortunadamente, muchos casos de "senilidad reversible", provocados por algunas drogas o fármacos, disminución de la presión arterial, estreñimiento, malnutrición, depresión, deshidratación y alteraciones hormonales, no llegan a diagnosticarse. La mejor forma de mantener la capacidad mental en la vejez podría ser acudir a revisiones médicas regularmente durante toda la vida.

Aunque es normal que el tamaño del encéfalo acabe reduciéndose, en algunos individuos (boxeadores profesionales y alcohólicos crónicos, por ejemplo) este proceso se acelera mucho antes de que intervenga el envejecimiento. Tanto si un boxeador gana el combate como si lo pierde, la probabilidad de sufrir daño cerebral y atrofia aumenta con cada golpe. La expresión "borracho sonado" ilustra los síntomas de dificultades de pronunciación ("se les traba la lengua"), temblores, marcha anómala y demencia (enfermedad mental) que se observan en muchos boxeadores retirados.

Es ampliamente aceptado que el alcohol afecta profundamente tanto a la mente como al cuerpo. Los escáneres de alcohólicos crónicos revelan una reducción del tamaño encefálico a una edad relativamente precoz. Al igual que los boxeadores, los alcohólicos crónicos muestran generalmente signos de deterioro mental no relacionados con el envejecimiento.

¿LO HAS ENTENDIDO?

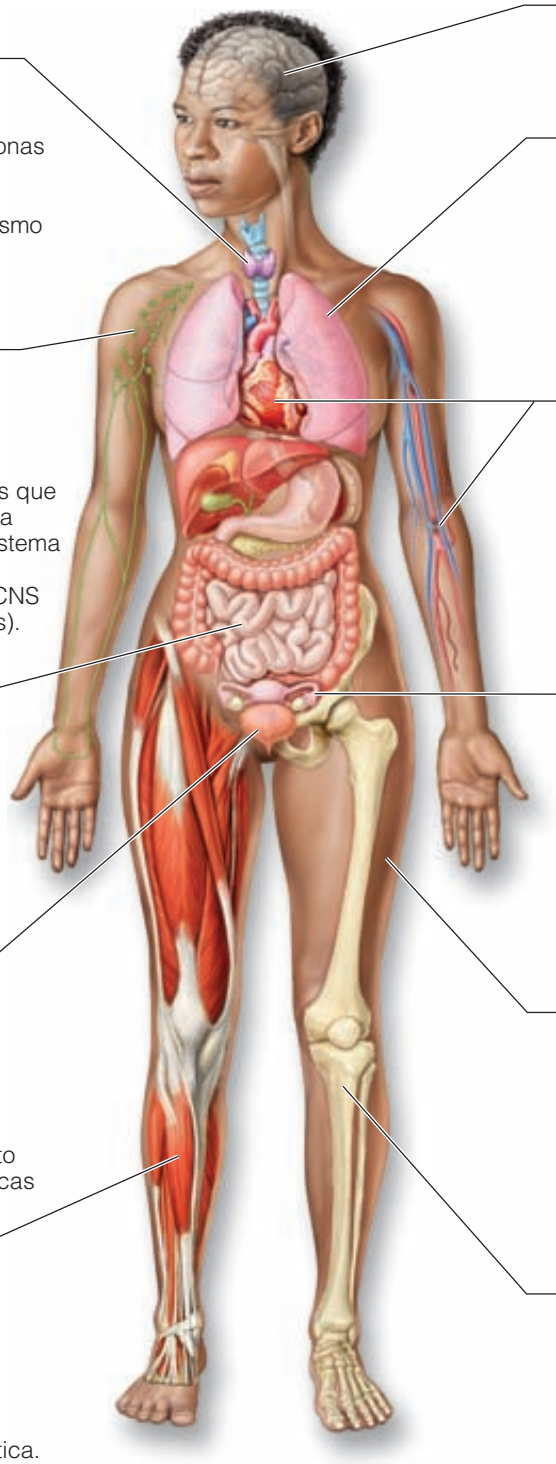
31. ¿Por qué es necesario que los bebés prematuros permanezcan en una incubadora hasta que su hipotálamo madure?
32. ¿Qué es la hipotensión ortostática? ¿Por qué la padecen tantos ancianos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Los hemisferios del cerebro humano (nuestros "casquetes de pensar") son extraordinariamente complejos. Las otras regiones encefálicas que supervisan todas nuestras funciones corporales autónomas, no conscientes, es decir, el diencéfalo y el tronco encefálico, no son menos asombrosas, especialmente si se tiene en cuenta su tamaño, relativamente pequeño. La médula espinal, que funciona como un centro reflejo, y los nervios peri-

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA NERVIOSO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema nervioso

Sistema endocrino
- La división simpática del ANS activa la médula suprarrenal; el hipotálamo produce dos hormonas y participa en la regulación de la actividad de la hipófisis anterior.
- Las hormonas afectan al metabolismo neuronal.

Sistema respiratorio
- El sistema nervioso regula la frecuencia y la profundidad de la respiración.
- El sistema respiratorio proporciona el oxígeno esencial para la vida y se deshace del dióxido de carbono.

Sistema linfático/Inmunidad
- Los nervios inervan los órganos linfáticos; el encéfalo interviene en la función inmunitaria.
- Los vasos linfáticos transportan líquidos filtrados desde los tejidos que rodean las estructuras del sistema nervioso; los componentes del sistema inmunitario protegen todo el organismo de los patógenos (el CNS posee además otros mecanismos).

Sistema cardiovascular
- El ANS participa en la regulación de la frecuencia cardiaca y la presión arterial.
- El sistema cardiovascular aporta al sistema nervioso sangre con oxígeno y nutrientes; y retira los deshechos.

Sistema digestivo
- El ANS (especialmente la división parasimpática) regula la actividad del sistema digestivo.
- El sistema digestivo proporciona los nutrientes imprescindibles para las neuronas.

Sistema reproductor
- El ANS regula la erección y la eyaculación en varones, y la erección del clítoris en mujeres.
- La testosterona masculiniza el encéfalo y está relacionada con el deseo sexual y la agresividad.

Sistema urinario
- El ANS regula el vaciamiento vesical y la presión arterial renal.
- Los riñones participan en la eliminación de los deshechos metabólicos y en el mantenimiento de las concentraciones electrolíticas y el pH sanguíneo necesarios para la función nerviosa.

Sistema integumentario
- La división simpática del ANS regula las glándulas sudoríparas y los vasos sanguíneos de la piel (y por tanto, la eliminación/retención de calor).
- La piel funciona como una superficie de eliminación del calor.

Sistema muscular
- La división somática del sistema nervioso activa los músculos esqueléticos; preserva los músculos en buen estado.
- Los músculos esqueléticos son los efectores de la división somática.

Sistema esquelético
- Los nervios inervan los huesos.
- Los huesos sirven como depósito del calcio necesario para la función nerviosa; protegen las estructuras del CNS.

féricos, que comunican el CNS con el resto del organismo, son igualmente importantes para la homeostasis.

En este capítulo se han introducido muchos términos nuevos, que irán apareciendo también en los siguientes capítulos, a lo largo de la descripción de los otros órganos y sistemas del organismo y del análisis de cómo el sistema nervioso ayuda a regular su actividad. Los términos son esenciales, así que es conveniente intentar aprenderlos a medida que se progresa en la lectura de cada capítulo. Puede resulta útil consultar frecuentemente el glosario que se encuentra al final del libro.

RESUMEN

A continuación se ofrecen las referencias de otros materiales de estudio útiles también para el repaso de los aspectos clave del Capítulo 7.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Organización del sistema nervioso (págs. 229-230)

1. Estructural: todas las estructuras del sistema nervioso se clasifican como pertenecientes al CNS (encéfalo y médula espinal) o bien al PNS (nervios y ganglios).
2. Funcional: los nervios motores del PNS se clasifican en división somática (estimulan los músculos esqueléticos) y división autónoma (músculos liso y cardiaco y glándulas).

Tejido nervioso: Estructura y función (págs. 230-242)

1. Células de soporte del tejido conectivo
   a. La neuroglía proporciona soporte y protección a las neuronas del CNS. Unas células de la neuroglía son fagocitos, otras se encargan de mielinizar las prolongaciones neuronales del CNS y algunas revisten las cavidades.
   b. Las células de Schwann mielinizan las prolongaciones neuronales en el PNS.

   WEB Actividades: Chapter 7, Glial Cells and Their Functions.
2. Neuronas
   a. Anatomía: todas las neuronas poseen un soma que contiene el núcleo y unas prolongaciones (fibras) de dos tipos: (1) axones (uno por neurona), típicamente generan los impulsos y los alejan del soma, y liberan neurotransmisores, y (2) dendritas (una o muchas por cada neurona), característicamente transportan la corriente eléctrica hacia el soma. La mayoría de las fibras largas están mielinizadas; la mielina aumenta la velocidad de transmisión del impulso nervioso.

   IP Nervous System Topic: Anatomy Review, págs. 3-11.
   b. Clasificación
      (1) Según la función (dirección de la transmisión del impulso), las neuronas se clasifican en sensitivas (aferentes), motoras (eferentes), y neuronas de asociación (interneuronas). Los extremos dendríticos están desnudos (receptores del dolor) o bien se asocian con un receptor sensorial.
      (2) Según la estructura, las neuronas se clasifican en unipolares, bipolares y multipolares; estos términos hacen referencia al número de prolongaciones que salen del soma. Las neuronas motoras y las de asociación son multipolares, la mayoría de las neuronas sensitivas son unipolares. La excepción son las neuronas sensitivas de los órganos de los sentidos especiales (vista, oído), que son neuronas bipolares.

   WEB Actividades: Chapter 7, Classification of Neurons.
   c. Fisiología
      (1) Un impulso nervioso es un proceso electroquímico (iniciado por distintos estímulos) que cambia la permeabilidad de la membrana plasmática neuronal, permitiendo que los iones de sodio (Na^+) entren a la célula (despolarización). Una vez iniciado, el potencial de acción (o impulso nervioso) recorre toda la superficie celular. La salida de iones de potasio (K^+) de la célula provoca que la electricidad de la membrana vuelva al estado de reposo (repolarización). La bomba sodio-potasio restablece las concentraciones iónicas propias del estado de reposo.

      IP Nervous System Topic: The Membrane Potential, págs. 3-13.

      (2) Una neurona influye sobre otras neuronas y células efectoras liberando neurotransmisores, sustancias químicas que atraviesan la hendidura sináptica y se unen a los receptores de membrana de la célula postsináptica. El resultado de este proceso es la apertura de canales iónicos específicos, y una activación o inhibición, según el neurotransmisor liberado y la célula postsináptica en cuestión.
      (3) Un reflejo es una repuesta rápida y predecible a un estímulo. Hay dos tipos: autónomos y somáticos. El número mínimo de componentes de un

arco reflejo es cuatro: receptor, efector, neurona sensitiva y neurona motora (no obstante, la mayoría poseen también una o más neuronas de asociación). Unos reflejos normales indican un funcionamiento normal del sistema nervioso.

Sistema nervioso central (págs. 242-258)

1. El encéfalo está situado en el interior del cráneo y está compuesto por los hemisferios encefálicos, el diencéfalo, el tronco encefálico y el cerebelo.

   WEB Actividades: Chapter 7, Parts of the Brain; The Human Brain: Sagittal Section.

   a. Los dos hemisferios cerebrales constituyen la mayor parte del encéfalo. La superficie hemisférica (corteza) es la sustancia gris, y el interior, la sustancia blanca. La corteza está plegada y tiene circunvoluciones, surcos y cisuras. Los hemisferios encefálicos participan en el pensamiento lógico, la conducta moral, las respuestas emocionales, la interpretación sensitiva y el inicio de la actividad muscular voluntaria. Se han identificado varias áreas funcionales en los lóbulos (véase la pág. 244). Los núcleos basales, áreas de sustancia gris situadas en la profundidad de la sustancia blanca hemisférica, modifican la actividad motora voluntaria. La enfermedad de Parkinson y la enfermedad de Huntington son dos trastornos de los núcleos basales.

   b. El diencéfalo se sitúa por encima del tronco encefálico y está rodeado por los hemisferios cerebrales. Las principales estructuras diencefálicas son:

      (1) El tálamo, que engloba al tercer ventrículo, es la estación de paso para los impulsos sensitivos, que llegan finalmente a la corteza sensitiva para ser interpretados.

      (2) El hipotálamo forma el "suelo" del tercer ventrículo y es el centro regulador más importante del sistema nervioso autónomo (regula el equilibrio hídrico, el metabolismo, la sed, la temperatura y demás).

      (3) El epitálamo incluye la epífisis (una glándula endocrina) y los plexos coroideos del tercer ventrículo.

   c. El tronco encefálico es la pequeña región inferior al hipotálamo que se continúa con la médula espinal.

      (1) El mesencéfalo es la parte superior y está compuesto básicamente por haces nerviosos.

      (2) La protuberancia es inferior al mesencéfalo y tiene haces nerviosos y núcleos implicados en la respiración.

      (3) El bulbo es la parte inferior del tronco encefálico. Además de haces, contiene núcleos autónomos implicados en la regulación de actividades claves para la vida (respiración, frecuencia cardiaca, presión arterial, etc.).

   d. El cerebelo es una parte grande del encéfalo, con aspecto de coliflor; está situado por detrás del cuarto ventrículo. Coordina la actividad muscular y el equilibrio.

2. Protección del CNS

   a. Los huesos del cráneo y de la columna vertebral son las estructuras protectoras más externas.

   b. Las meninges son tres membranas de tejido conectivo: la duramadre (externa y resistente), la aracnoides (media, parecida a una tela de araña) y la piamadre (interna y delicada). Las meninges sobrepasan el final de la médula espinal.

   WEB Actividades: Chapter 7, Meninges of the Brain.

   c. El líquido cefalorraquídeo (CFS) proporciona un "colchón" líquido al encéfalo y la médula. El CFS está formado por los plexos coroideos del encéfalo. Ocupa el espacio subaracnoideo, los ventrículos y el canal central. El CFS se forma y se elimina continuamente.

   d. La barrera hematoencefálica está compuesta por capilares relativamente impermeables.

3. Disfunciones encefálicas

   a. Los traumatismos en la cabeza pueden causar una conmoción (daño reversible) o una contusión (daño irreversible). La pérdida de conciencia (temporal o permanente) aparece cuando se afecta el tronco encefálico. El edema cerebral y las hemorragias intracraneales pueden agravar el daño provocado por el traumatismo, porque ambos comprimen el tejido encefálico.

   b. Los accidentes cerebrovasculares (o ictus) son el resultado de la muerte del tejido por interrupción del flujo sanguíneo a las neuronas. Los síntomas consisten en alteraciones de la vista, parálisis y afasia, entre otros.

   c. La enfermedad de Alzheimer es una enfermedad degenerativa del encéfalo en la que aparecen depósitos anormales de proteínas y otras alteraciones estructurales. Provoca una pérdida de memoria lenta y progresiva, alteraciones del control motor y demencia que empeora con el tiempo.

   d. Algunas técnicas utilizadas para diagnosticar las disfunciones encefálicas son el EEG, la exploración de los reflejos, la neumoencefalografía, la angiografía, el escáner, la tomografía por emisión de positrones y la resonancia magnética.

4. La médula espinal es un centro reflejo y una vía de conducción. Está situada dentro del canal vertebral y se extiende desde el foramen *magnum* hasta L_1 o L_3. Está compuesta por una zona central de sustancia gris, en forma de mariposa, rodeada de columnas de sustancia blanca que transportan los haces motores y sensitivos desde y hacia el encéfalo.

   WEB Actividades: Chapter 7, Anatomy of the Spinal Cord.

Sistema nervioso periférico (págs. 258-270)

1. Un nervio es un conjunto de prolongaciones neuronales envueltas por capas de tejido conectivo (endoneuro, perineuro y epineuro).

   WEB Actividades: Chapter 7, Structure of a Nerve.

2. Pares craneales: doce parejas de nervios que salen del cráneo y terminan en la cabeza y el cuello. La excepción es el nervio vago, que llega al tórax y al abdomen.

   WEB Actividades: Chapter 7, Cranial Nerves; Descriptions of Cranial Nerves.

3. Nervios espinales: 31 pares de nervios formados por la unión de las raíces dorsales y ventrales de la médula espinal (dos por cada vértebra). El nervio espinal propiamente dicho es muy corto, se divide en los ramos dorsales y ventrales. Los ramos dorsales se distribuyen por la espalda; los ramos ventrales (excepto de T_1 a T_{12}) forman plexos (cervical, braquial, lumbar y sacro), que inervan las extremidades.

   WEB Actividades: Chapter 7, Distributions of Spinal Nerves.

4. Sistema nervioso autónomo: pertenece al PNS y está compuesto por neuronas que regulan la actividad de las glándulas y del músculo liso y cardiaco. Este sistema se diferencia del sistema nervioso somático en que tiene una cadena de dos neuronas motoras, que van desde el CNS hasta el órgano efector. Dos subdivisiones inervan los mismos órganos, con efectos opuestos.
   a. La división parasimpática es el sistema "doméstico" y el que ejerce el mando la mayor parte del tiempo. Esta división mantiene la homeostasis al encargarse de que la digestión y la eliminación sean normales y de la conservación de la energía. Las primeras neuronas motoras están en el encéfalo o en la región sacra de la médula. Las segundas neuronas motoras están en los ganglios terminales cercanos al órgano en cuestión. Todos los axones parasimpáticos liberan acetilcolina.
   b. La división simpática es la subdivisión de "lucha o huida", que prepara al organismo para responder a una amenaza. Si se activa, aumenta la frecuencia cardiaca y la presión arterial. Las neuronas preganglionares están en la sustancia gris de la médula. Los somas de las neuronas postganglionares están en las cadenas simpáticas o en los ganglios colaterales. Los axones postganglionares liberan noradrenalina.

Formación y desarrollo del sistema nervioso (págs. 272-275)

1. El desarrollo embrionario del encéfalo puede verse afectado por distintos factores, maternales y ambientales. La deprivación de oxígeno destruye las células nerviosas. La parálisis cerebral, la anencefalia, la hidrocefalia y la espina bífida son algunos de los trastornos encefálicos congénitos y graves.
2. Los bebés prematuros regulan mal su temperatura corporal porque el hipotálamo es una de las zonas del encéfalo que más tarde madura en la etapa prenatal.
3. El progreso del control motor representa la mielinización y maduración del sistema nervioso infantil. El encéfalo deja de crecer al inicio de la edad adulta. Las neuronas mueren a lo largo de la vida y no son reemplazadas; por esta razón, el peso del encéfalo disminuye al envejecer.
4. Los ancianos sanos conservan un funcionamiento intelectual casi óptimo. Las enfermedades, especialmente las cardiovasculares, son la principal causa del deterioro de las facultades intelectuales en la vejez.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Un ejemplo de la integración que realiza el sistema nervioso es:
   a. la sensación de una brisa fría.
   b. el estremecimiento y la piel de gallina en respuesta al frío.
   c. percibir el sonido de la lluvia.
   d. la decisión de volver a por un paraguas.
2. ¿Dónde puede haber núcleos de materia gris?
   a. A ambos lados de la columna vertebral.
   b. En el encéfalo.
   c. En la médula espinal.
   d. En los receptores sensitivos.
3. La delicada meninge interna se llama:
   a. duramadre.
   b. cuerpo calloso.
   c. aracnoide.
   d. piamadre.
4. El examen histológico de un corte de tejido nervioso revela un conjunto de fibras agrupadas por unas células cuyos múltiples procesos involucran a varias fibras y forman una vaina de mielina. ¿De qué pieza se trata?
   a. Núcleo. c. Nervio.
   b. Ganglio. d. Haz.
5. La epífisis o glándula pineal está en el:
   a. hipotálamo. c. epitálamo.
   b. mesencéfalo. d. cuerpo calloso.

6. Elige el término correcto para cada una de las frases que describen áreas encefálicas.

   a. Cerebelo.
   b. Tubérculos cuadrigéminos.
   c. Cuerpo calloso.
   d. Cuerpo estriado.
   e. Hipotálamo.
   f. Protuberancia.
   g. Mmesencéfalo.
   h. Bulbo.
   i. Tálamo.

   ____ 1. Núcleos basales implicados en el control preciso de la movilidad.
   ____ 2. Región donde se cruzan todas las fibras de los haces piramidales descendientes.
   ____ 3. Control de la temperatura, los reflejos del sistema autónomo, el hambre y el equilibrio hídrico.
   ____ 4. Contiene la sustancia negra y el acueducto de Silvio.
   ____ 5. Estación intermedia de los estímulos visuales y auditivos, situada en el mesencéfalo.
   ____ 6. Contiene centros clave para el control del corazón, la respiración y la presión arterial.
   ____ 7. Área encefálica que recibe todas las aferencias sensitivas y las remite a la corteza cerebral.
   ____ 8. Región encefálica responsable del equilibrio, la postura corporal y la coordinación de los movimientos.

7. Parte de la médula espinal asociada con el conjunto de nervios encargados de las extremidades superiores:

   a. Plexo braquial.
   b. Engrosamiento braquial.
   c. Engrosamiento cervical.
   d. Astas laterales de sustancia gris.

8. ¿Cuál de las siguientes contiene únicamente fibras motoras?

   a. Raíz dorsal.
   b. Rama dorsal.
   c. Raíz ventral.
   d. Rama ventral.

9. Pares craneales que participan de alguna forma en la vista:

   a. Patético.
   b. Trigémino.
   c. Motor ocular externo.
   d. Facial.

10. La movilidad de los músculos extensores del brazo, el antebrazo y los dedos se afectaría por la lesión de uno de estos nervios:

    a. Radial.
    b. Axilar.
    c. Cubital.
    d. Mediano.

11. Células de la neuroglía presentes en gran número en áreas de infección bacteriana en el encéfalo:

    a. Oligodendrocitos.
    b. Astrocitos.
    c. Ependimocitos.
    d. Microglía.

12. ¿Cuál de las siguientes frases es cierta para el sistema nervioso autónomo, pero no para el somático?

    a. Su neurotransmisor es la acetilcolina.
    b. Los axones están mielinizados.
    c. Los efectores son células musculares.
    d. Sus neuronas motoras están situadas en ganglios.

Respuesta breve

13. ¿Cuáles son los dos grandes sistemas controladores del organismo?

14. Clasificación estructural y funcional del sistema nervioso. Subdivisiones.

15. ¿En qué se basa la clasificación funcional de las neuronas?

16. El sistema nervioso está compuesto básicamente por dos grupos de células, neuronas y células del tejido conectivo como los astrocitos y las células de Schwann. ¿Cuáles son las células "nerviosas"? ¿Por qué? ¿Cuáles son las principales funciones del otro grupo?

17. Explicar brevemente la iniciación y transmisión de los impulsos nerviosos, y por qué la conducción en las sinapsis siempre es unidireccional.

18. Nombrar cuatro tipos de receptores sensitivos cutáneos. ¿Cuál es el más numeroso? ¿Por qué?

19. Nombrar los componentes mínimos de un arco reflejo.

20. Hacer un bosquejo del hemisferio cerebral izquierdo. En el dibujo, localizar al menos cinco áreas funcionales y señalar sus funciones.

21. ¿Qué importante función tiene la protuberancia (aparte de contener las vías nerviosas)? ¿Por qué el bulbo es la parte más vital del encéfalo?

22. ¿Cuál es la función del tálamo? ¿Y del hipotálamo?

23. Explicar cómo algunos huesos, membranas, líquido y capilares protegen el encéfalo.

24. ¿Qué es la sustancia gris? ¿Y la sustancia blanca? ¿En qué se diferencian la organización de la sustancia gris y blanca en los hemisferios cerebrales y en la médula espinal?

25. Nombrar dos funciones de la médula espinal.

26. ¿Cuántos pares craneales hay? ¿Cuáles son exclusivamente sensitivos? ¿Cuál activa los músculos de la masticación? ¿Cuál participa en la regulación de la frecuencia cardiaca y en la actividad del sistema digestivo?

27. ¿Qué área corporal cubren los pares craneales (excepto el nervio vago)?

28. ¿Cuántos pares de nervios espinales hay? ¿Cómo se forman?

29. ¿Qué zona del cuerpo inervan los ramos dorsales de los nervios espinales? ¿Y los ramos ventrales?

30. Citar los cuatro plexos nerviosos principales formados por los ramos ventrales y la región corporal a la que inervan.

31. ¿En qué se diferencian el sistema nervioso autónomo y el sistema nervioso somático?

32. Explicar las diferencias entre el simpático y el parasimpático en lo que respecta a la función general de ambos y a sus acciones sobre el sistema cardiovascular y el digestivo.

33. Las fibras simpáticas y las parasimpáticas inervan los mismos órganos. ¿Cómo se puede explicar que sus efectos sean opuestos?

34. ¿Cómo ayuda una célula de Schwann a aislar una fibra nerviosa?

35. Comparar las causas, síntomas y consecuencias de los accidentes cerebrovasculares y los accidentes isquémicos transitorios.

36. Definir *senilidad*. Nombrar las posibles causas de senilidad permanente y reversible.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

37. La Sra. Pérez sufre un deterioro progresivo de sus facultades mentales desde hace unos cinco o seis años. Al principio, su familia pensaba que los despistes, la escasa claridad mental y el nerviosismo se debían a la tristeza por el fallecimiento de su esposo seis años antes. En la evaluación, la Sra. Pérez era consciente de sus problemas cognitivos y su coeficiente intelectual resultó 30 puntos inferior al estimado a partir de su historia laboral. El escáner mostró atrofia cerebral difusa. El médico recetó a la Sra. Pérez un tranquilizante suave y comunicó a sus familiares que no podía hacer mucho más. ¿Cuál es el problema de la Sra. Pérez?

38. José, un varón de poco más de 70 años, tenía problemas para masticar la comida. Al pedirle que sacara la lengua, se observó que ésta se desviaba a la derecha y que la mitad derecha estaba bastante atrofiada. ¿Qué par craneal estaba afectado?

39. A Juan, un teleadicto, le gustan las cenas muy copiosas. Después de cenar su esposa le pide que ayude a lavar los platos, pero él contesta que está "demasiado cansado" y se duerme rápidamente. ¿Cuál podría ser el problema de Juan?

40. Una joven semiinconsciente es llevada al hospital por sus amigos, tras sufrir una caída desde el tejado. No había perdido la conciencia inmediatamente y al principio estaba lúcida. Pero al rato parecía confusa y después no respondía. ¿Cuál es la explicación más probable de esta situación?

41. En la revisión de Jorge, realizada un año después de que se lesionara el nervio espinal derecho en un accidente, se observó atrofia muscular grave. ¿Cuáles son los dos músculos importantes afectados?

42. La Sra. Tapia lleva a su recién nacido al hospital porque el bebé ha tenido varias crisis epilépticas. Al preguntarle por el parto, relata que fue muy largo y complicado. ¿Qué enfermedad podría tener el bebé? ¿Empeorará?

43. Sandra, una niña de 3 años, lloriquea diciendo que "no tiene" brazo derecho, y la exploración muestra poca fuerza muscular en esa extremidad. Los padres relatan al ser preguntados que su padre la había columpiado cogiéndola por los brazos. ¿Qué parte del PNS está lesionada?

44. El Sr. Domínguez es un anciano de 82 años, encamado, que ha descubierto un nuevo interés: aprender cosas nuevas acerca de su cuerpo. Comenta a la enfermera que le atiende que las células de soporte del tejido nervioso (células de Schwann y oligodendrocitos) funcionan como el plástico que reviste los cables domésticos. ¿Qué quiere decir con esta analogía?

45. Jaime, un anciano con antecedentes de accidentes isquémicos transitorios, dijo a su hija que tenía un dolor de cabeza muy fuerte. Poco después entró en coma. En el hospital le diagnosticaron una hemorragia encefálica. ¿En qué parte del encéfalo se produjo la hemorragia?

46. ¿Por qué la exposición a los tóxicos tiene efectos más devastadores sobre el sistema nervioso al principio de la gestación que al final?

47. Carlos es la estrella del equipo local de hockey sobre hielo. En un partido le golpean tan fuerte por detrás con un palo de hockey que cae de bruces sobre el hielo. Cuando intenta levantarse, no puede flexionar la cadera izquierda ni extender la rodilla izquierda, pero no siente dolor. ¿Qué nervio está afectado?

48. Jesús recibió un golpe en la nuca con un bate de béisbol; ahora, al encogerse de hombros, uno no se levanta. ¿Cuál es el par craneal implicado?

CAPÍTULO 8

Sentidos especiales

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, conocerás las funciones de los sentidos especiales y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN FUNCIONAL

- Los sentidos especiales responden a distintos tipos de estímulos energéticos que influyen en la vista, el oído, el equilibrio, el olfato y el gusto.

NUESTROS OBJETIVOS

PARTE I: EL OJO Y LA VISTA (págs. 281-294)

- Cuando se proporcione un modelo o diagrama, identificar las estructuras oculares secundarias y enumerar las funciones de cada una.
- Nombrar las capas de la pared ocular e indicar la función principal de cada una.
- Explicar las diferencias entre los bulbos y los conos.
- Describir la formación de imágenes en la retina.
- Trazar la ruta que sigue la luz a través del ojo hasta llegar a la retina.
- Explicar la importancia de un examen oftalmoscópico.
- Definir estos términos: *adaptación, astigmatismo, papila óptica, cataratas, emetropía, glaucoma, hipermetropía, miopía y refracción.*

- Trazar la ruta visual hasta la corteza óptica.
- Explicar la importancia de los reflejos pupilares y de convergencia.

PARTE II: LA OREJA: EL OÍDO Y EL EQUILIBRIO **(págs. 294-300)**

- Identificar las estructuras del oído externo, medio e interno, y enumerar sus funciones.
- Describir el modo en que los órganos del equilibrio ayudan a mantener el equilibrio.
- Explicar la función del órgano de Corti en el oído.
- Definir la *sordera neurosensorial* y *conductiva,* y enumerar las posibles causas de cada una.
- Explicar nuestra capacidad para localizar el origen de un sonido.

PARTE III: SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO Y OLFATO **(págs. 301-303)**

- Describir la ubicación, estructura y función de los receptores olfativos y gustativos.
- Nombrar las cuatro sensaciones básicas del gusto y enumerar los factores que modifican el sentido del gusto.

PARTE IV: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LOS SENTIDOS ESPECIALES **(págs. 303-305)**

- Describir los cambios que se producen con el envejecimiento en los órganos de los sentidos especiales.

Las personas somos criaturas sensibles. Al poner pan recién horneado delante de nosotros, se nos hace la boca agua. El repentino estruendo de un trueno hace que nos sobresaltemos del susto. Estos "irritantes" (el pan y el estruendo del trueno) y muchos otros son estímulos que recibimos continuamente y que nuestro sistema nervioso interpreta.

Siempre hemos oído que tenemos cinco sentidos que nos mantienen en contacto con lo que sucede en el mundo exterior: el tacto, el gusto, el olfato, la vista y el oído. En realidad, el tacto es una mezcla de los sentidos generales explicados en el Capítulo 7; los receptores cutáneos de temperatura, presión y dolor y los propioceptores de los músculos y articulaciones. Los otros cuatro sentidos "tradicionales" *(olfato, gusto, vista* y *oído)* se denominan **sentidos especiales.** Los receptores de un quinto sentido especial, el *equilibrio*, se alojan en la oreja, junto con el órgano del oído. En contraste con los pequeños receptores generales ampliamente distribuidos, los **receptores de los sentidos especiales** son órganos sensoriales grandes y complejos (ojos y orejas) o agrupaciones localizadas de receptores (papilas gustativas y epitelio olfativo).

Este capítulo se centra en la anatomía funcional de cada uno de los órganos de los sentidos especiales de forma individual, aunque hay que tener en cuenta que las entradas sensoriales se superponen. Lo que experimentamos finalmente (nuestra "sensación" del mundo) es una mezcla de efectos estimulantes.

PARTE I: EL OJO Y LA VISTA

El modo en que funciona nuestra vista ha llamado la atención de muchos investigadores. La vista es el sentido más estudiado. De todos los receptores sensoriales del cuerpo, el 70 por ciento se encuentran en los ojos. Las cintillas ópticas que transmiten información de los ojos al cerebro son los paquetes masivos, que contienen más de un millón de fibras nerviosas. La vista es un sentido que requiere la mayor parte del "aprendizaje", y parece que al ojo le encanta engañarse. La antigua expresión "Cada uno ve lo que quiere" suele ser cierta.

Anatomía del ojo

Estructuras externas y secundarias

El ojo adulto es una esfera que mide unos 2,5 cm de diámetro aproximadamente. Sólo la sexta parte anterior de la superficie ocular puede verse. El resto está rodeado y protegido por un amortiguador de grasa y las paredes de la órbita ósea. Las **estructuras secundarias** del ojo incluyen los músculos oculares extrínsecos, los párpados, la túnica conjuntiva y el aparato lagrimal.

En su parte anterior, los ojos están protegidos por los **párpados,** que se juntan en las extremidades medial y lateral del ojo, la **comisura medial** y **lateral *(canthus),***

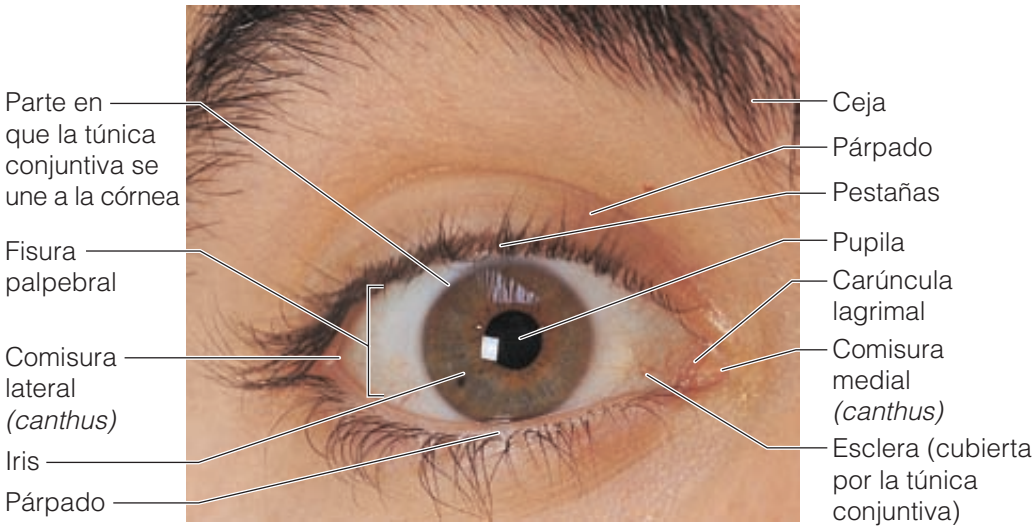


FIGURA 8.1 **Anatomía superficial del ojo y estructuras secundarias.**

respectivamente (Figura 8.1). El espacio entre los párpados y el ojo abierto se denomina *fisura palpebral.* Proyectándose desde el borde de cada párpado encontramos las **pestañas.** Las glándulas sebáceas modificadas asociadas a los bordes de los párpados son las **glándulas tarsianas.** Estas glándulas producen una secreción aceitosa que lubrica el ojo (Figura 8.2a). Las *glándulas ciliares*, glándulas sudoríparas modificadas, se encuentran entre las pestañas (*cilium* = pestaña).

Una delicada membrana, la **túnica conjuntiva,** rodea los párpados y cubre parte de la superficie externa del globo ocular (Figuras 8.1 y 8.2). Termina en el borde de la córnea donde se fusiona con el epitelio corneal. La túnica conjuntiva segrega moco, que ayuda a lubricar el globo ocular y a mantenerlo húmedo.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

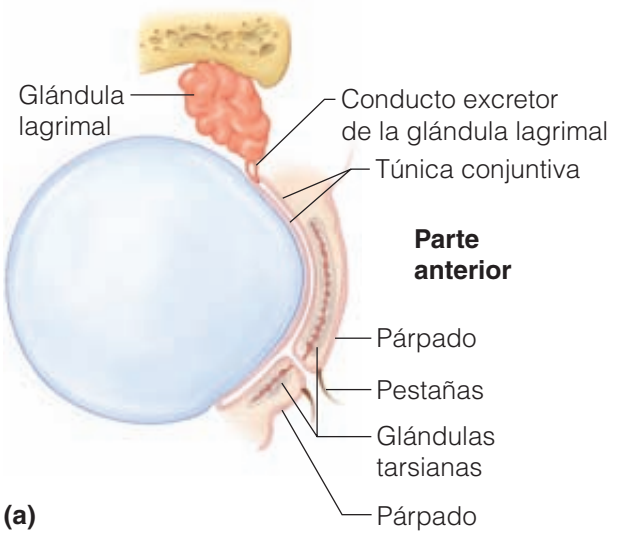
La inflamación de la túnica conjuntiva, denominada **conjuntivitis,** provoca enrojecimiento e irritabilidad ocular. La **conjuntivitis aguda,** en su forma infecciosa provocada por bacterias o virus, es muy contagiosa. ▲

El **aparato lagrimal** (Figura 8.2b) consta de la glándula lagrimal y de varios conductos que drenan las secreciones lagrimales en la cavidad nasal. Las **glándulas lagrimales** se encuentran encima del extremo lateral de cada ojo. Liberan una solución salada diluida continuamente *(lágrimas)* en la superficie anterior del globo ocular a través de varios conductillos. Las lágrimas atraviesan el globo ocular hasta los **canalículos lagrimales** en su parte medial; a continuación, en el **saco lagrimal,** y finalmente en el **conducto nasolagrimal,** que se vacía en la cavidad nasal (véase la Figura 8.2b). La secreción lagrimal también contiene anticuerpos y **lisozima,** una enzima que destruye las bacterias. Así, limpia y protege la superficie ocular humedeciéndola y lubricándola. Cuando la secreción lagrimal aumenta significativamente, las lágrimas se derraman por los párpados y llenan las cavidades nasales, lo que provoca congestión y los "sorbos". Esto sucede cuando el ojo se irrita debido a objetos o sustancias químicas extraños, y cuando nos encontramos emocionalmente molestos. En el caso de la irritación, el lagrimeo sirve para expulsar o diluir las sustancias irritantes. La importancia de las "lágrimas emocionales" apenas se entiende, pero algunos estudiosos sospechan que llorar es importante para reducir el estrés. Cualquiera que experimente una buena llorera probablemente estará de acuerdo, aunque es difícil probarlo científicamente.

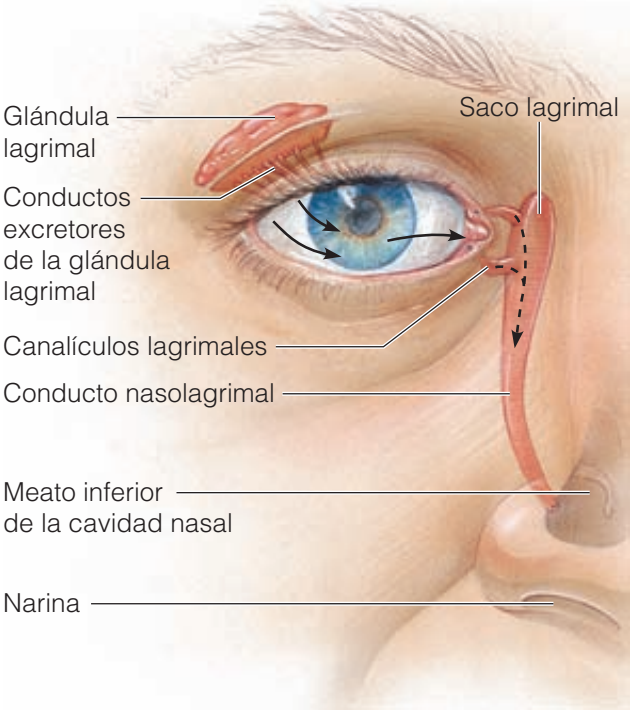
DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Puesto que la mucosa de la cavidad nasal es la continuación de la del sistema de conductos lagrimales, a menudo, un resfriado o una inflamación nasal hacen que la mucosa lagrimal se hinche e inflame. Esto deteriora el drenaje de las lágrimas de la superficie ocular, lo que provoca los ojos "llorosos". ▲

Hay seis **músculos oculares extrínsecos** (o **externos**) unidos a la superficie externa de cada ojo. Estos músculos producen una increíble cantidad de movimientos oculares y permiten que los ojos sigan objetos en movimiento. Los nombres, ubicaciones, acciones y el nervio craneal que actúan con cada uno de los músculos extrínsecos se muestran en la Figura 8.3.



(a)



(b)

FIGURA 8.2 Estructuras secundarias del ojo. **(a)** Sección sagital de las estructuras secundarias asociadas a la parte anterior del ojo. **(b)** Vista anterior del aparato lagrimal.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Cuál es la función de los párpados?
2. ¿Qué estructura del ojo forma las lágrimas?
3. ¿Qué son las lágrimas?
4. ¿Cuál es la función visual de los músculos oculares externos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Estructuras internas: el globo ocular

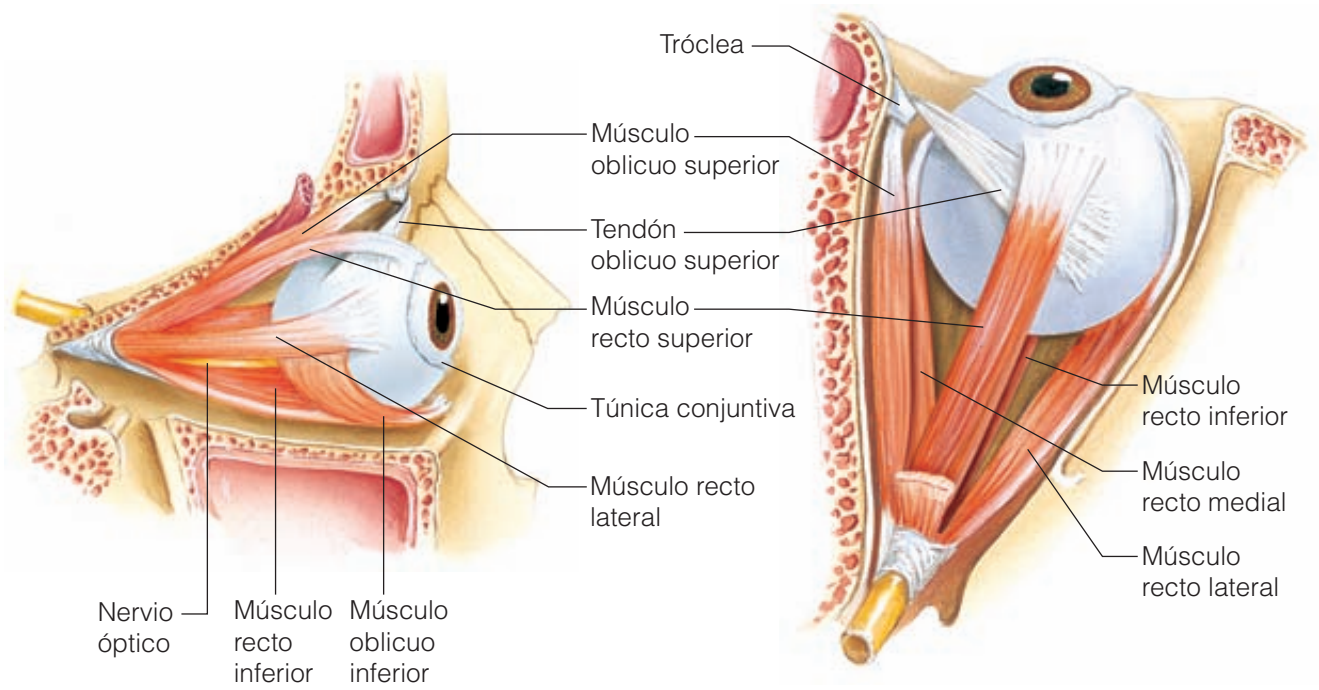
El ojo propiamente dicho, que suele denominarse **globo ocular,** es una esfera con agujeros (Figura 8.4). Su pared está formada por tres *capas*, y su interior está lleno de líquidos denominados *humores* que ayudan a que mantenga su forma. La lente, el principal aparato de enfoque ocular, se encuentra apoyada en vertical dentro de la cavidad ocular, de modo que la divide en dos cámaras.

Capas que forman la pared del globo ocular

Ahora que hemos explicado la anatomía general del globo ocular, podemos especificar más.

Capa fibrosa La capa más externa, denominada **capa fibrosa,** consta de la **esclera** protectora y la **córnea** transparente. La esclera, tejido conectivo grueso, blanco y brillante, se ve por su parte anterior como lo "blanco del ojo". La parte central anterior de la capa fibrosa es cristalina. Esta "ventana" es la córnea a través de la cual la luz entra en el ojo. La córnea está plagada de terminaciones nerviosas. La mayoría son fibras de dolor y, al tocar la córnea, se parpadea y aumenta el lagrimeo. Incluso entonces, la córnea es la parte más expuesta del ojo, y es muy vulnerable a sufrir daños. Afortunadamente, su capacidad autorreparadora es extraordinaria. Además, la córnea es el único tejido del cuerpo que puede transplantarse de una persona a otra sin que exista riesgo de rechazo. Puesto que carece de vasos sanguíneos, se encuentra fuera del alcance del sistema inmunológico.

Capa vascular La capa media del globo ocular, la **capa vascular,** consta de tres regiones bien diferenciadas. La parte más posterior es el **coroides,** una túnica nutritiva rica en sangre que contiene un pigmento oscuro. El pigmento evita que la luz se disperse dentro del ojo. Al moverse por su parte anterior, el coroides se modifica para formar dos suaves estructuras musculares, el **cuerpo ciliar,** al que se encuentra unida la lente mediante un ligamento suspensorio denominado **zónula ciliar,** y el **iris.** El iris pigmentado



(a) (b)

Nombre	Acción	Nervio craneal que lo controla
Recto lateral	Mueve el ojo lateralmente	VI (abducente)
Recto medial	Mueve el ojo medialmente	III (oculomotor)
Recto superior	Levanta el ojo y lo gira medialmente	III (oculomotor)
Recto inferior	Baja el ojo y lo gira medialmente	III (oculomotor)
Oblicuo inferior	Levanta el ojo y lo gira lateralmente	III (oculomotor)
Oblicuo superior	Baja el ojo y lo gira lateralmente	IV (troclear)

(c)

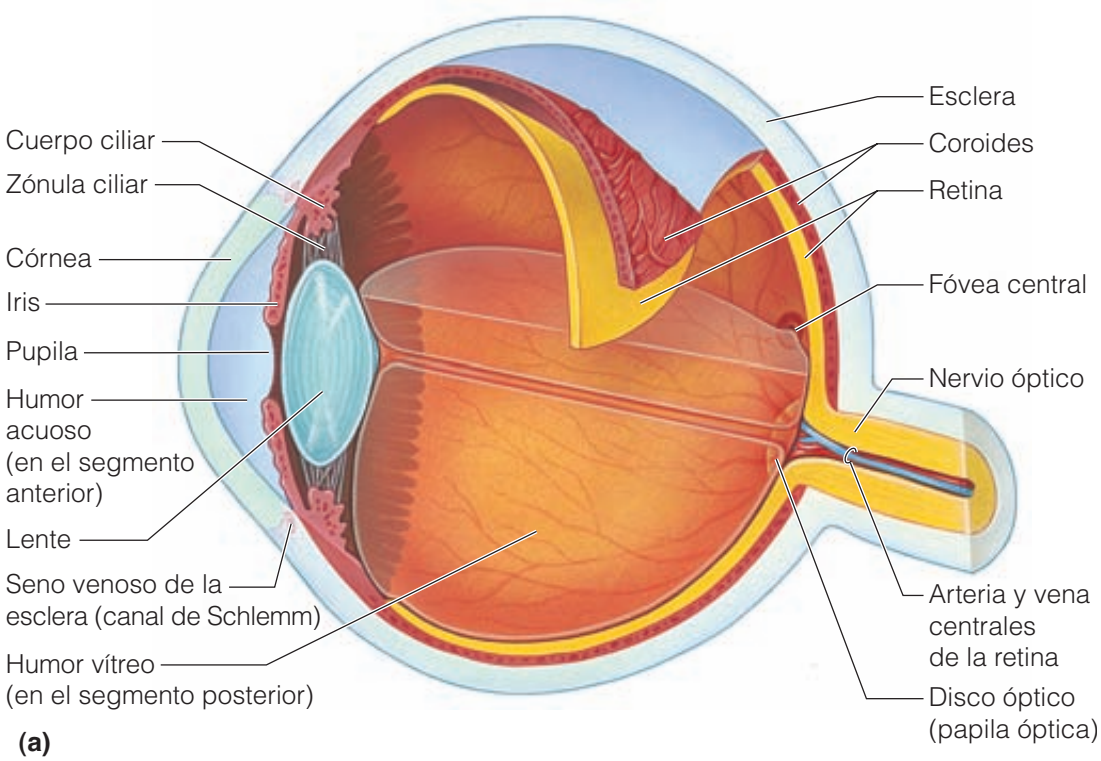
FIGURA 8.3
Músculos extrínsecos del ojo. (a) Vista lateral del ojo derecho. **(b)** Vista superior del ojo derecho. Los cuatro músculos rectos se originan desde el anillo anular, un tendón anular de la parte trasera de la cuenca del ojo. **(c)** Resumen de los nervios craneales y las acciones de los músculos oculares extrínsecos.

tiene una abertura redondeada, la **pupila,** a través de la cual pasa la luz. Unas suaves fibras musculares organizadas circular y radialmente forman el iris, que actúa como el diafragma de una cámara. En otras palabras, regula la cantidad de luz que entra en el ojo, y de este modo nos permite ver lo más claramente posible con la luz disponible. Al acercar la vista y con luz brillante, los músculos circulares y la pupila se contraen. Al alejar la vista y con luz tenue, las fibras radiales se contraen para aumentar (dilatar) la pupila, dejando entrar más luz en el ojo.

Capa sensorial La **capa sensorial** más interna del ojo es la delicada **retina** bicapa, que se extiende por la parte anterior hasta el cuerpo ciliar. La **capa pigmentada** externa de la retina está formada por células pigmentadas que, al igual que las del coroides, absorben la luz y evitan que ésta se disperse dentro del ojo. Adicionalmente, estas células actúan como fagocitos para extraer las células receptoras muertas o dañadas y para almacenar la vitamina A necesaria para la vista.

La **capa neural** transparente interna de la retina contiene millones de células receptoras, los **bulbos** y los **conos,** que se denominan fotorreceptores porque responden a la luz (Figura 8.5). Las señales eléctricas pasan desde los fotorreceptores a través de una

P *¿Qué capa del ojo sería la primera en verse afectada por la carencia de producción de lágrimas?*



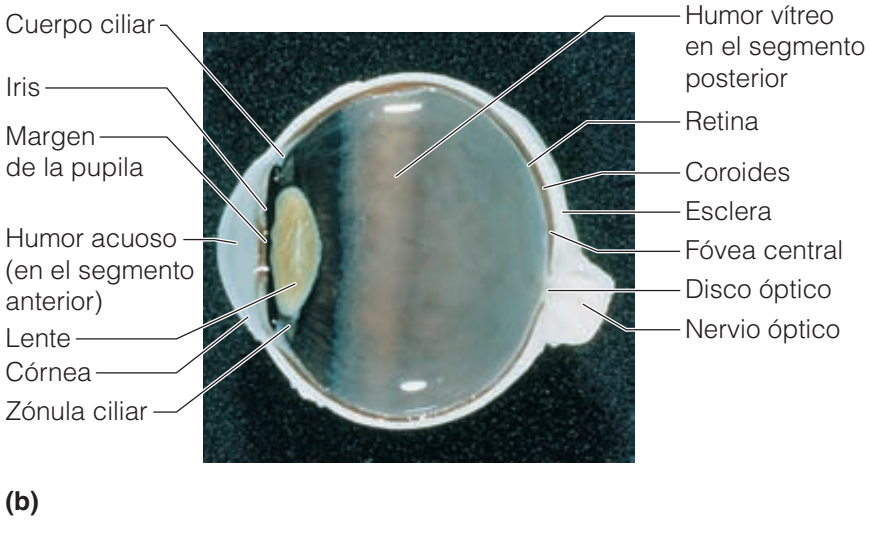


FIGURA 8.4 **Anatomía interna del ojo (sección sagital).**
(a) Vista esquemática. **(b)** Fotografía.

R *La esclera más externa (fundamentalmente su córnea), que se humedece continuamente mediante las lágrimas.*

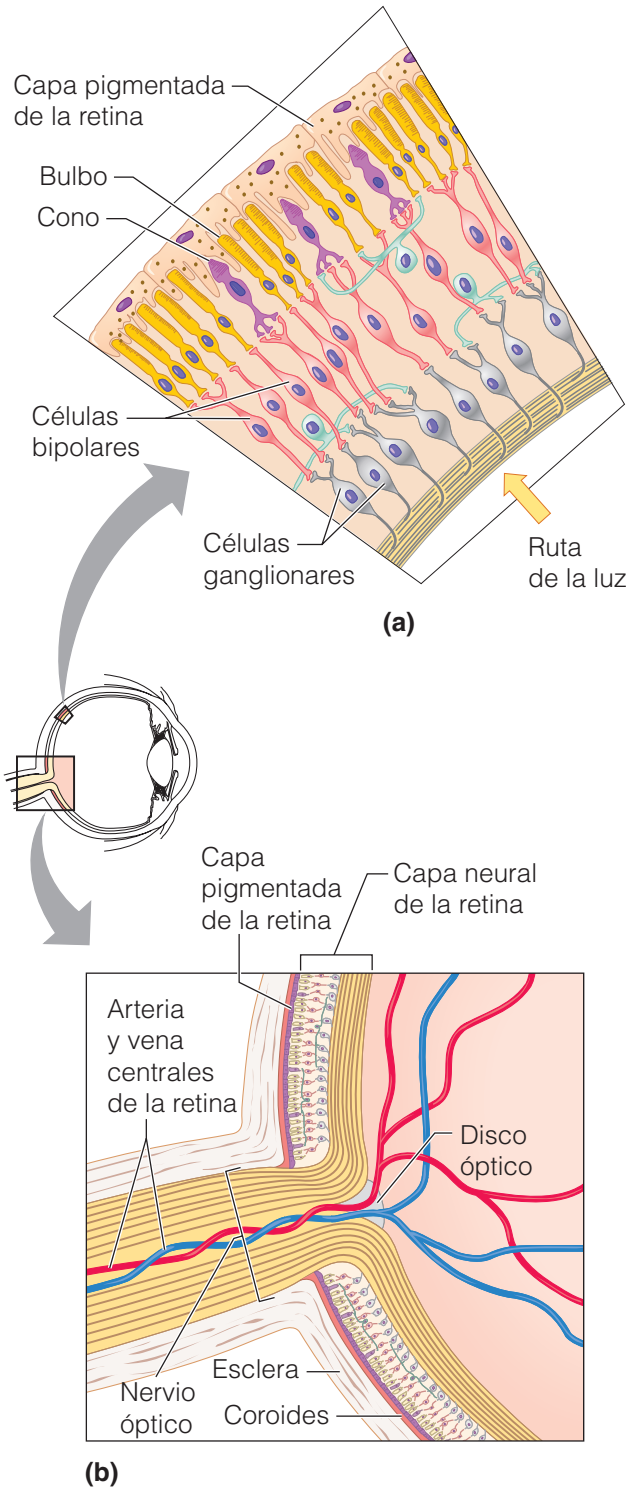


FIGURA 8.5 Los tres tipos principales de neuronas que componen la retina. (a) Ten en cuenta que la luz debe cruzar el espesor de la retina para excitar los bulbos y los conos. Las señales eléctricas fluyen en la dirección opuesta: desde los bulbos y conos hasta las células bipolares y, finalmente, hasta las células ganglionares. Las células ganglionares generan los impulsos nerviosos que abandonan el ojo a través del nervio óptico. **(b)** Vista esquemática de la parte posterior del globo ocular, que ilustra el modo en que los axones de las células ganglionares forman el nervio óptico.

cadena de dos neuronas (**células bipolares** y, a continuación, **células ganglionares**) antes de abandonar la retina a través del **nervio óptico** en forma de impulsos nerviosos que se transmiten a la corteza óptica. El resultado es la visión.

Las células fotorreceptoras se distribuyen por toda la retina, excepto donde el **nervio óptico** (formado por axones de células ganglionares) abandona el globo ocular; este sitio se denomina **disco óptico** (o **papila óptica**). Cuando la luz de un objeto se enfoca en el disco óptico, el objeto desaparece de nuestra vista y dejamos de verlo.

Los bulbos y conos no se distribuyen uniformemente en la retina. Los bulbos son más densos en la periferia (o borde) de la retina, y reducen su número a medida que nos aproximamos al centro de la retina. Los bulbos permiten ver en escala de grises con luz tenue y nos proporcionan una visión periférica.

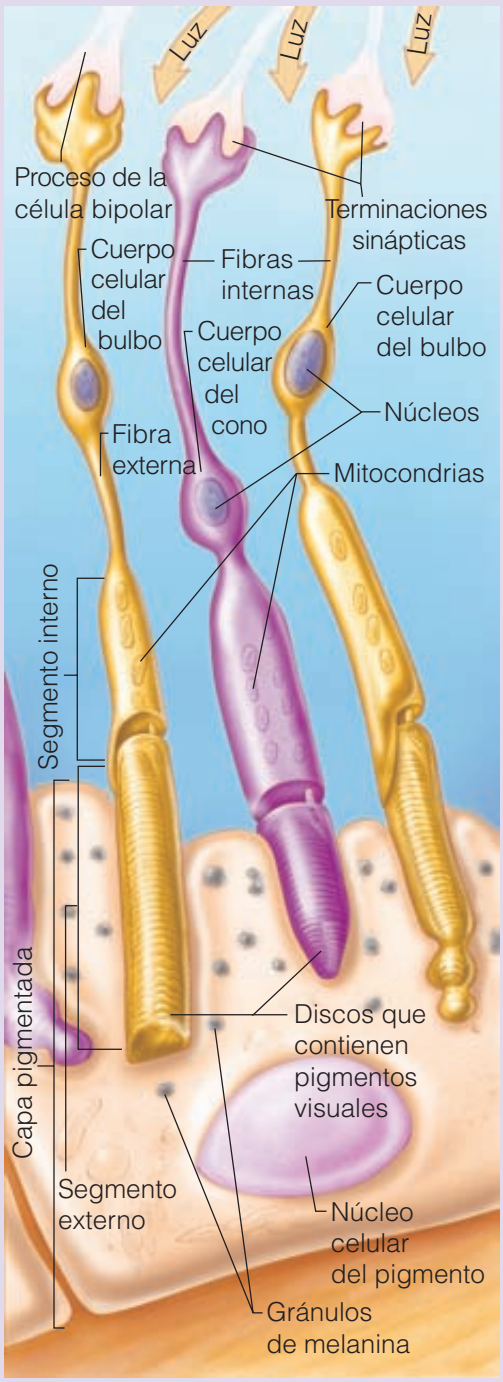
DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cualquier cosa que interfiera con la función de los bulbos dificulta nuestra capacidad para ver de noche, una enfermedad denominada **ceguera nocturna.** La ceguera nocturna deteriora peligrosamente la capacidad de conducir con seguridad por la noche. Su causa más común es la carencia prolongada de vitamina A, que acaba deteriorando la mayor parte de la retina neural. Como se describe en el cuadro "Más de cerca" de las páginas 287-288, la vitamina A es uno de los complementos esenciales de los pigmentos que las células fotorreceptoras necesitan para responder a la luz. Los complementos de vitamina A restaurarán la función si se toman antes de que se produzcan cambios degenerativos. ▲

Los conos son receptores discriminatorios que nos permiten ver los detalles de nuestro mundo en color con luz brillante. Son más densos en el centro de la retina, y reducen su número hacia el borde retinal. En la parte lateral de cada papila óptica, se encuentra la **fóvea central,** una diminuta fosa que sólo contiene conos (véase la Figura 8.4). En consecuencia, ésta es la zona de mayor **agudeza visual,** o punto de visión más nítida, y cualquier cosa que deseemos ver detalladamente se enfoca en la fóvea central.

MÁS DE CERCA

PIGMENTOS VISUALES: LOS AUTÉNTICOS FOTORRECEPTORES

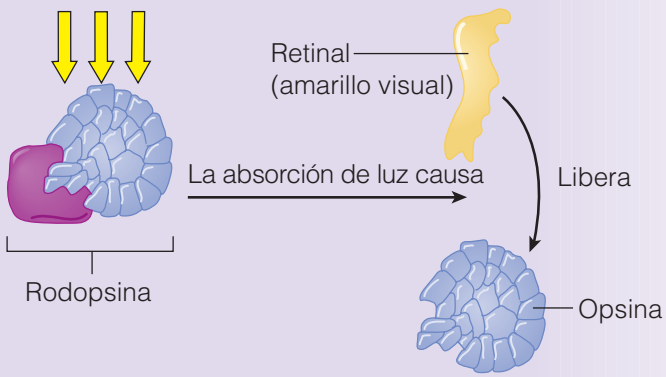


Las diminutas células fotorreceptoras de la retina tienen nombres que reflejan su forma. Como se indica a la izquierda, los bulbos son neuronas finas y alargadas, mientras que los conos más gruesos se estrechan hasta convertirse en una punta afilada. En cada tipo de fotorreceptor, hay una región denominada *segmento externo*, unida al cuerpo celular. El segmento externo corresponde a una dendrita que captura la luz, en la que los discos que contienen los pigmentos visuales están apilados como una fila de monedas.

El comportamiento de los pigmentos visuales es impresionante. Cuando la luz impacta en ellos, pierden su color, o se "blanquean"; y poco después, regeneran su pigmento. La absorción de luz y el blanqueo de los pigmentos provocan cambios eléctricos en las células fotorreceptoras, que acaban causando impulsos nerviosos que se transmitirán al cerebro para la interpretación visual. La regeneración de los pigmentos garantiza que uno no está ciego y que es capaz de ver con luz brillante del sol.

Sabemos bastante sobre la estructura y la función de la **rodopsina,** el pigmento morado que se encuentra en los bulbos (véase la figura que aparece a continuación). Se forma a partir de la unión de una proteína **(opsina)** y de un producto de vitamina A modificada **(retinal).** Al combinarse en rodopsina, el retinal tiene una forma ondulada que permite que se una a la opsina. No obstante, cuando la luz impacta en la rodopsina, el retinal se endereza y libera la proteína. Una vez enderezado, el retinal continúa su conversión hasta que vuelve a convertirse en vitamina A.

> *"El comportamiento de los pigmentos visuales es impresionante."*



MÁS DE CERCA Pigmentos visuales: los auténticos fotorreceptores **(continuación)**

A medida que se producen estos cambios, el color morado de la rodopsina cambia al amarillo del retinal, y finalmente se convierte en incoloro al producirse el cambio a vitamina A. Así, el término "blanqueamiento del pigmento" describe con precisión los cambios de color que se producen cuando la luz impacta en el pigmento. La rodopsina se regenera a medida que la vitamina A vuelve a convertirse en la forma ondulada del retinal y se recombina con la opsina en un proceso que requiere ATP. Los pigmentos de los conos, aunque son similares a la rodopsina, difieren en los tipos específicos de proteínas que contienen.

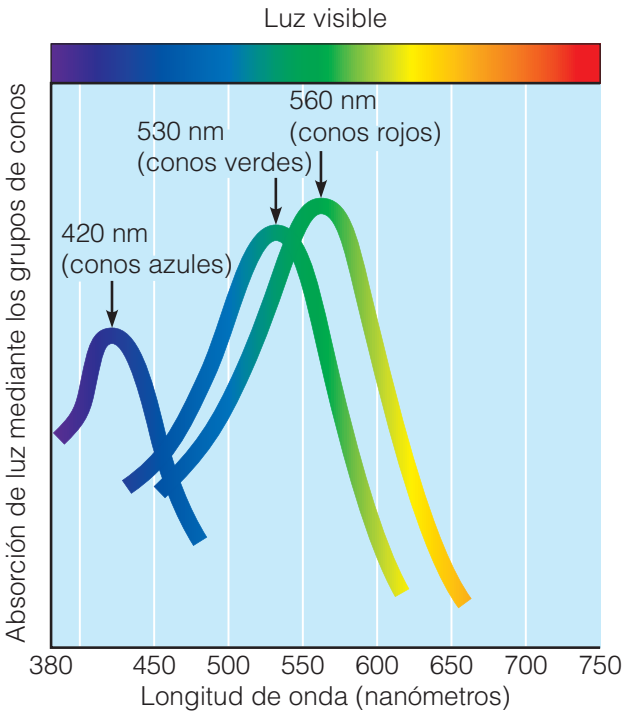


FIGURA 8.6 Sensibilidad de los tres tipos de conos a las distintas longitudes de onda de la luz visible.

Hay tres variedades de conos, y cada tipo es más sensible a determinadas longitudes de onda de luz visible (Figura 8.6). Un tipo responde más rotundamente a la luz azul, y otro a la luz verde. La tercera variedad de conos responde a un rango que incluye las longitudes de onda de la luz verde y roja. Sin embargo, ésta es la única agrupación de conos que responde a la luz roja por completo, así que se les denomina "conos rojos". Los impulsos recibidos simultáneamente de más de un tipo de cono por la corteza visual se interpretan como colores *intermedios*. Por ejemplo, los impulsos simultáneos de los receptores de los colores azul y rojo se ven como tonos morados o violetas. Cuando se estimulan los tres tipos de conos, vemos el blanco. Si alguien apunta con una luz roja a uno de nuestros ojos y con una verde al otro, veremos el color amarillo, lo que indica que se produce una "mezcla" e interpretación de los colores en el cerebro, no en la retina.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La falta de los tres tipos de conos provoca una **acromatopsia** total, mientras que la falta de un tipo de conos conlleva una acromatopsia parcial. Lo más común es la falta de receptores de rojo o verde, lo que produce dos variedades de ceguera de los colores rojo-verde. El rojo y el verde se ven como el mismo color; ya sea rojo o verde, en función del tipo de cono *presente*. Mucha gente con acromatopsia no es consciente de su enfermedad porque han aprendido a confiar en otras pistas (como las diferencias de intensidad del mismo color) para distinguir algo verde de algo rojo, por ejemplo, en las señales de tráfico. Puesto que los genes que regulan la visión en color se encuentran en el cromosoma sexual X (hembra), la acromatopsia es una enfermedad vinculada al sexo. Se produce casi exclusivamente en los hombres. ▲

Lente

La luz que entra en el ojo se enfoca en la retina mediante la lente, una estructura cristalina flexible y biconvexa. La lente se sujeta en posición vertical en el ojo mediante un ligamento suspensorio, la zónula ciliar, unida al cuerpo ciliar (véase la Figura 8.4).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En la juventud, la lente es totalmente transparente y tiene la consistencia de la gelatina dura, pero a me-

dida que envejecemos se va volviendo más dura y opaca. Las **cataratas,** que son el resultado de este proceso, hacen que la vista se nuble y se distorsione, y acaban provocando ceguera en el ojo afectado (Figura 8.7). Otros factores de riesgo de formación de las cataratas son la diabetes *mellitus*, una frecuente exposición a la luz solar intensa y el abuso excesivo del tabaco. El tratamiento actual de las cataratas consiste en la extracción quirúrgica de la lente y su sustitución con un implante de lente o en gafas especiales para cataratas. ▲

La lente divide el ojo en dos segmentos (o cámaras). El *segmento anterior (acuoso)*, anterior a la lente, contiene un líquido claro y acuoso denominado **humor acuoso.** El *segmento posterior (vítreo)*, tras la lente, está lleno de una sustancia con aspecto de gel denominada **humor vítreo** o **cuerpo vítreo** (véase la Figura 8.4). El humor vítreo ayuda a evitar que el globo ocular se hunda hacia el interior reforzándolo internamente. El humor acuoso es similar al plasma sanguíneo y se segrega continuamente mediante una zona especial del coroides. Al igual que el humor vítreo, ayuda a mantener la *presión intraocular* (o la presión interna del ojo). También proporciona nutrientes a la lente y la córnea, que carecen de suministro sanguíneo. El humor acuoso se reabsorbe en la sangre venosa a través del **seno venoso de la esclera** (o **canal de Schlemm**), ubicado en la unión de la esclera y la córnea.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si se bloquea el drenaje del humor acuoso, el líquido vuelve hacia arriba como un fregadero atascado. La presión del ojo puede aumentar a peligrosos niveles y comprimir la retina y el nervio óptico, muydelicados. La enfermedad resultante, el **glaucoma** ("vista en gris"), acaba causando dolor y una posible ceguera a menos que se detecte pronto. El glaucoma es una causa común de ceguera en la vejez. Desafortunadamente, muchas formas de glaucoma evolucionan lentamente y apenas presentan síntomas al principio. Así, va cegando lenta y dolorosamente hasta que se produce el daño. Los síntomas posteriores son: visión de halos en torno a luces, cefaleas y vista borrosa. Para medir la tensión intraocular se utiliza un sencillo instrumento denominado *tonómetro*. Este examen debe realizarse anualmente a partir de los 40 años. El glaucoma suele tratarse con colirios que aumentan el drenaje del humor acuoso. También puede utilizarse la ampliación quirúrgica o mediante láser del canal de drenaje. ▲

El *oftalmoscopio* es un instrumento que ilumina el interior del globo ocular, y permite ver y examinar la retina, el disco óptico y los vasos sanguíneos internos del **fondo,** o la pared posterior del ojo (Figura 8.8).

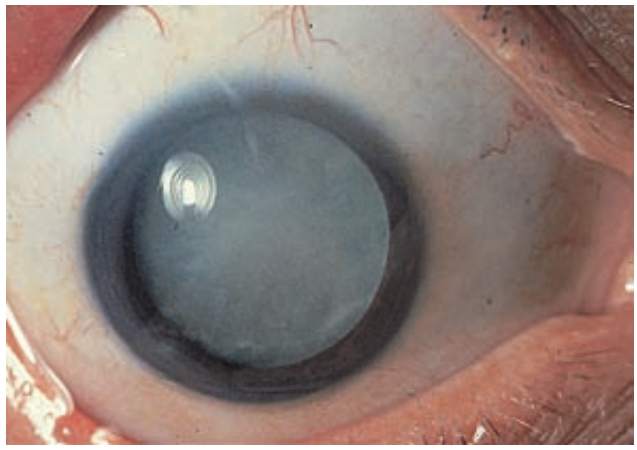


FIGURA 8.7 Fotografía de una catarata. Las cataratas aparecen como una estructura lechosa que parece llenar la pupila.

Determinadas patologías, como la diabetes, la arteriosclerosis y la degeneración del nervio óptico y la retina, pueden detectarse mediante este examen.

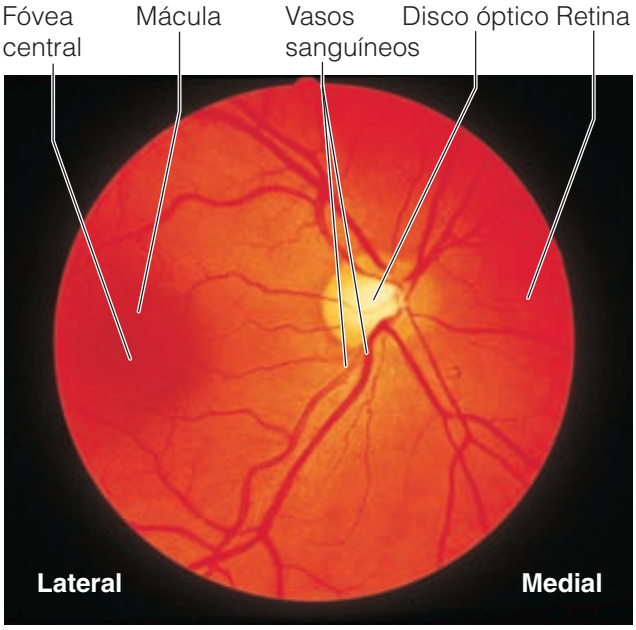


FIGURA 8.8 La pared posterior (fondo) de la retina vista con un oftalmoscopio. Nótese que desde el disco óptico salen los vasos sanguíneos.

¿LO HAS ENTENDIDO?

5. ¿Qué significa el término *papila óptica* en relación con el ojo?
6. ¿Qué función tienen en común el coroides de la capa vascular y la capa pigmentada de la retina?
7. ¿En qué se diferencian los bulbos y los conos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

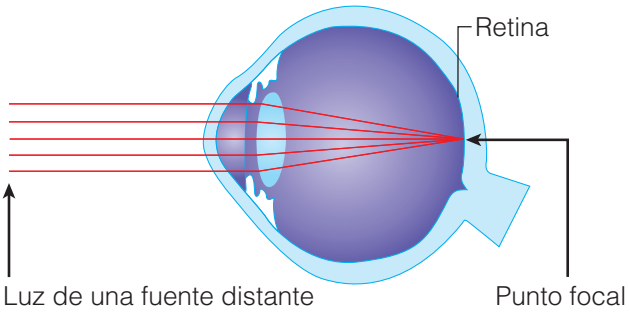
La ruta de la luz a través del ojo y la refracción de la luz

Cuando la luz pasa de una sustancia a otra con una densidad distinta, su velocidad cambia y sus rayos se curvan (o **refractan**). Los rayos de luz se curvan en el ojo al encontrarse con la córnea, el humor acuoso, la lente y el humor vítreo.

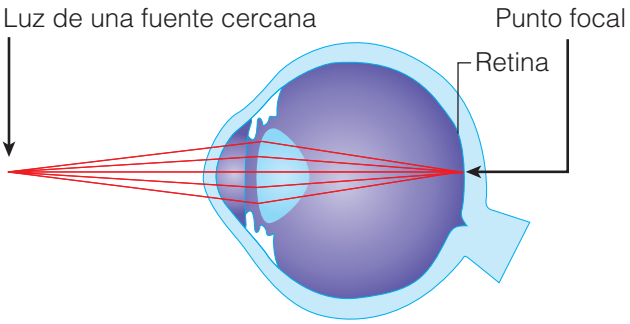
La potencia refractora (o de curvatura) de la córnea y los humores es constante. No obstante, la de la lente puede modificarse cambiando su forma; es decir, haciéndola más o menos convexa, de modo que la luz pueda enfocarse correctamente en la retina. Cuanto mayor es la convexidad (o abombamiento) de la lente, más se curva la luz. Cuanto más plana es la lente, menos se curva la luz.

La parte restante del ojo se "ajusta" a una vista distante. En general, la luz de una fuente distante (a más de seis metros) se acerca al ojo en forma de rayos paralelos (Figura 8.9a), y no es necesario que la lente cambie de forma para enfocar correctamente la visión en la retina. Sin embargo, la luz de un objeto cercano tiende a dispersarse y *divergir,* y la lente debe abombarse más para formar la visión más cercana posible (Figura 8.9b). Para conseguirlo, el cuerpo ciliar se contrae, lo que permite que la lente se vuelva más convexa. Esta capacidad del ojo para enfocar específicamente objetos cercanos (aquellos a menos de seis metros) se denomina **adaptación.** La imagen formada en la retina como resultado de la actividad de la lente para curvar la luz es una *imagen real*; es decir, se revierte de izquierda a derecha, de arriba abajo (se invierte) y es más pequeña que el objeto (Figura 8.10). El ojo normal es capaz de acomodarse correctamente. No obstante, los problemas de vista se producen cuando la lente es demasiado fuerte o demasiado débil (sobreconvergiéndose e infraconvergiéndose respectivamente) o debido a problemas estructurales del globo ocular (como se describe en el cuadro "Más de cerca" sobre la miopía y la hipermetropía en las págs. 292-293).

P *Cuando miras esta figura, ¿tus lentes están relativamente gruesas o relativamente finas?*



(a)



(b)

FIGURA 8.9 Convexidad relativa de la lente durante el enfoque para una visión distante y cercana. **(a)** Los rayos de luz desde un objeto distante son casi paralelos al alcanzar el ojo, y pueden enfocarse sin que se produzcan cambios en la convexidad de la lente. **(b)** Los rayos de luz divergentes desde objetos cercanos requieren que la lente se abombe más para enfocar la imagen nítidamente en la retina.

Campos y rutas visuales hasta el cerebro

Los axones que transportan los impulsos desde la retina se unen en la parte posterior del globo ocular y se extienden desde la parte trasera del ojo como el nervio

R *Utilizarías la vista cercana, así que las lentes estarían abombadas y serían, por tanto, relativamente gruesas.*

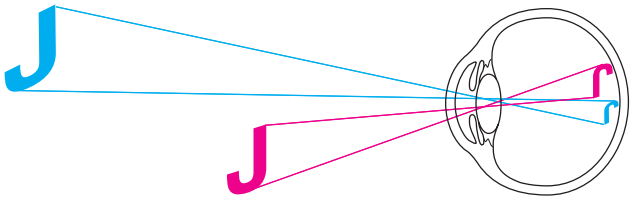


FIGURA 8.10 Imagen real (invertida de izquierda a derecha y de arriba abajo) formada en la retina. Ten en cuenta que cuanto más lejos se encuentre el objeto, más pequeña será la imagen que se forme en la retina.

óptico. En el **quiasma óptico** (quiasma = cruz) las fibras de la cara medial de cada ojo cruzan hasta el lado opuesto del cerebro. Los tractos fibrosos resultantes son las **cintillas ópticas.** Cada tracto óptico contiene fibras del lateral del ojo en el mismo lado y en el lado medial del otro ojo. Las fibras del tracto óptico realizan la sinapsis con las neuronas en el tálamo, cuyos axones forman la **radiación óptica,** que llega hasta el lóbulo occipital del cerebro. Allí realizan la sinapsis con las células corticales y se produce la interpretación visual (o la vista). La ruta visual desde el ojo hasta el cerebro se muestra en la Figura 8.11. Como puedes ver, cada lado del cerebro recibe la entrada visual de los dos ojos; del campo de visión lateral del ojo en su propio lado y desde el campo medial del otro ojo. Ten en cuenta también que cada ojo "ve" una cosa ligeramente distinta, y sus *campos visuales* se superponen un poco. Como resultado de estos dos hechos, los seres humanos poseen una *visión binocular*. La visión binocular, literalmente "visión con dos ojos", proporciona una profunda percepción, también denominada visión "tridimensional", ya que la corteza visual funde las dos imágenes ligeramente distintas de los dos ojos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La **hemianopsia** es la pérdida del mismo lado del campo visual en ambos ojos, lo que produce daños en la corteza visual solamente en un lado (como se produce en algunos CVA). Así, la persona no podrá ver cosas pasada la mitad de su campo visual ni a la derecha ni a la izquierda, en función del lugar del CVA. Tales individuos deben ser atendidos cuidadosamente y avisados sobre los objetos que se encuentren en el lado anómalo (ciego) de su campo visual. Su comida y objetos personales siempre deben estar colocados en el lado funcional; de lo contrario, pueden ignorarlos. ▲

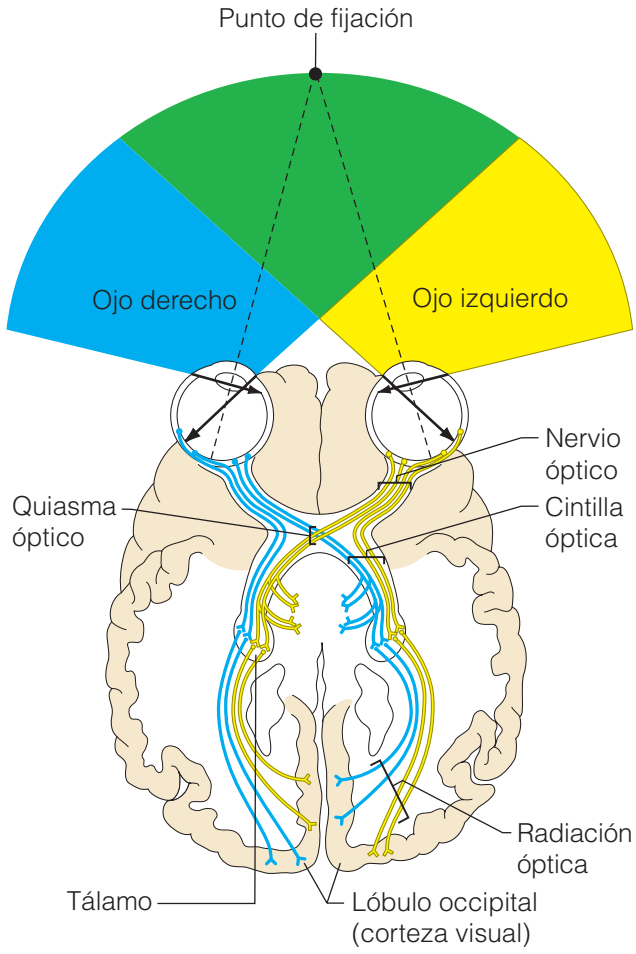


FIGURA 8.11 Campos visuales de los ojos y ruta visual hasta el cerebro. Observa que los campos visuales se superponen considerablemente (zona de visión binocular). Fíjate también en los puntos del retinal en los que se enfocaría una imagen real cuando los dos ojos se fijasen en un objeto cercano y puntiagudo.

Reflejos oculares

Los músculos oculares internos y externos (extrínsecos) son necesarios para el correcto funcionamiento del ojo. Los músculos internos son controlados por el sistema nervioso autónomo. Como se ha mencionado anteriormente, estos músculos incluyen los del cuerpo ciliar, que altera la curvatura de la lente, y los músculos radial y circular del iris, que controlan el tamaño de la pupila. Como se muestra en la Figura 8.3, los músculos externos son los músculos recto y oblicuo, que están unidos a la parte exterior del globo ocular. Los músculos externos controlan los movimientos oculares y posibilitan el

MÁS DE CERCA

SI NO PUEDO VER OBJETOS LEJANOS, ¿SOY CORTO DE VISTA O HIPERMÉTROPE?

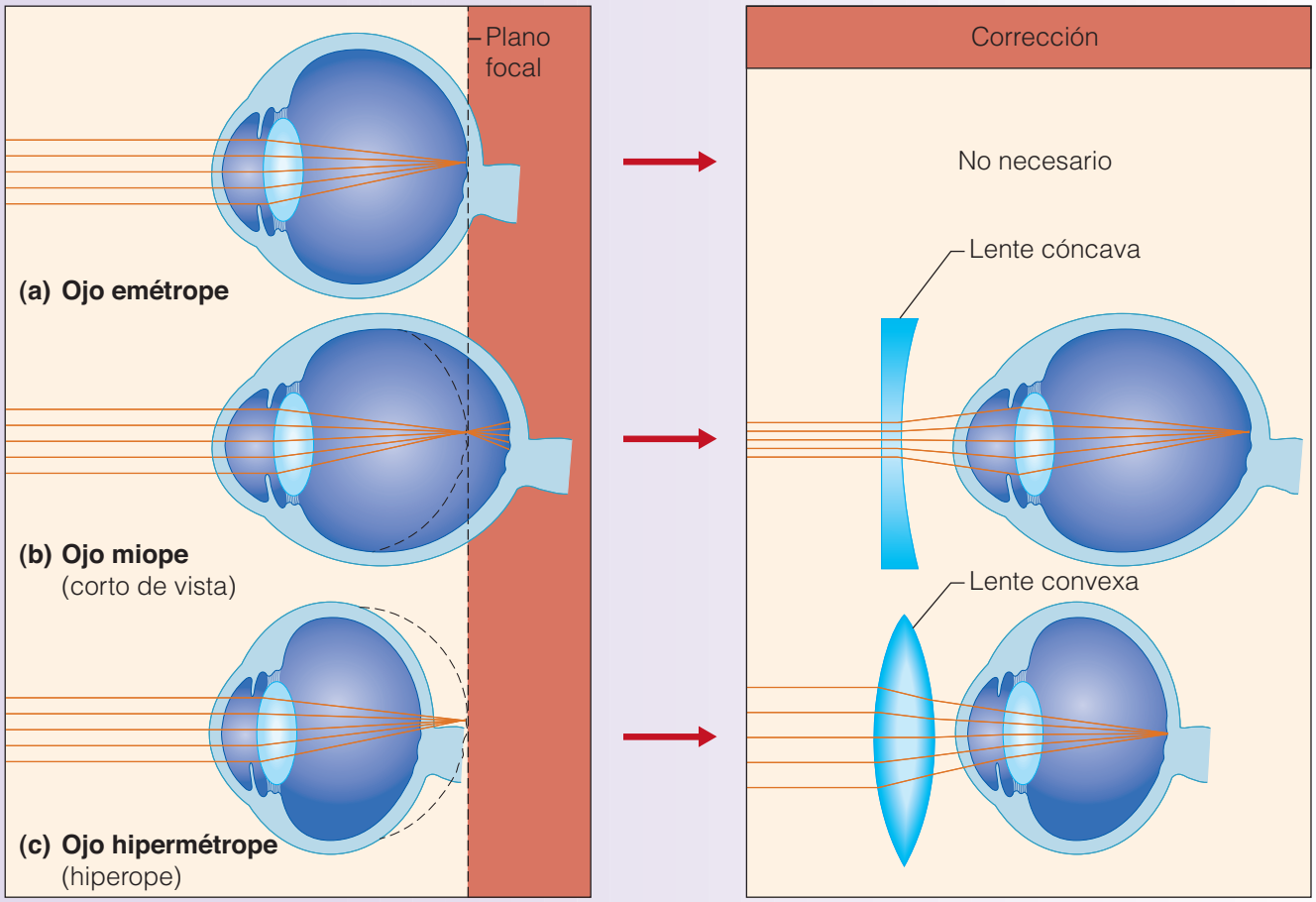
Parece que siempre que las personas que llevan gafas o lentes de contacto charlan sobre su vista, uno de ellos dice algo como: "Veo borrosos los objetos cercanos, pero no me acuerdo si eso significa que soy corto de vista o hipermétrope". O puede que algún otro diga: "Con las gafas veo objetos de lejos con mayor claridad, ¿eso significa que soy hipermétrope?". Aquí explicaremos el significado de la cortedad de vista y de la hipermetropía a medida que exploramos la base de los trastornos del enfoque ocular.

Se dice que el ojo que enfoca las imágenes correctamente en la retina tiene **emetropía,** literalmente, "visión armoniosa". Un ojo así se muestra en el apartado (a) de la figura.

La cortedad de vista se denomina formalmente **miopía** ("vista corta"). Se produce cuando los rayos de luz paralelos de objetos distantes no pueden alcanzar la retina y, en su lugar, se enfocan delante de ella; véase el apartado (b) de la figura. Por tanto, los miopes ven borrosos los objetos *distantes*. En cambio, los objetos cercanos se enfocan, porque la lente se "adapta" (abomba) para enfocar la imagen correctamente en la retina. La miopía se produce debido a un globo ocular demasiado largo, una lente demasiado fuerte o una córnea demasiado curvada. La corrección requiere unas gafas correctoras cóncavas que diverjan los rayos de luz antes de que éstos penetren en el ojo, de modo que converjan desde más lejos. Para responder a la primera pregunta planteada arriba, las personas *cortas* de vista ven los objetos cercanos con claridad y necesitan gafas correctoras para enfocar los objetos que están lejos.

> *"Se dice que el ojo que enfoca las imágenes correctamente en la retina tiene emetropía."*

La hipermetropía también se denomina **hiperopía** ("vista lejana"). Se produce cuando los rayos de luz paralelos de objetos distantes se enfocan *detrás* de la retina; al menos en la parte restante del ojo en que la lente es plana y el músculo ciliar está relajado; véase el apartado (c) de la figura. La hipermetropía suele producirse como consecuencia de un globo ocular demasiado corto o de una lente "vaga". Las personas con hipermetropía ven los objetos distantes con claridad porque sus músculos ciliares se contraen continuamente para aumentar la potencia de curvatura de la luz de la lente, que mueve el punto focal hacia adelante en la retina. No obstante, los rayos divergentes de los objetos *cercanos* se enfocan tan detrás de la retina que ni siquiera con un "abombamiento" total, la lente puede enfocar la imagen en la retina. Por tanto, los objetos cercanos aparecen borrosos. Además, los hipermétropes presentan vista cansada, ya que la interminable contracción de los músculos ciliares supone un sobreesfuerzo. Para corregir la hipermetropía, se necesitan unas gafas correctoras *convexas* que converjan los rayos de luz antes de que éstos penetren en el ojo. Para responder a la segunda pregunta planteada al principio de este cuadro, un *hipermétrope* puede ver objetos *lejanos* con claridad y necesita gafas correctoras para enfocar objetos cercanos. Unas curvaturas desiguales en las distintas partes de la córnea o lente provocan **astigmatismo.** En esta enfermedad, se producen imágenes borrosas porque los puntos de luz se enfocan no como puntos de la retina, sino como líneas (*astigma* = distinto de un punto). Las gafas o lentes de contacto especiales cilíndricas y convergentes se utilizan para corregir este problema. Los ojos miopes o hipermétropes y astigmáticos precisan de una corrección más compleja.



seguimiento de objetos en movimiento. También son responsables de la **convergencia,** que es el movimiento reflejo de los ojos medialmente cuando vemos objetos cercanos. Cuando se produce la convergencia, los dos ojos se dirigen hacia el objeto cercano que se está viendo. Las fibras somáticas de los nervios craneales III, IV y VI, controlan los músculos extrínsecos como se indica en la Figura 8.3.

Cuando los ojos se ven expuestos repentinamente a la luz brillante, las pupilas se contraen de inmediato; se trata del **reflejo pupilar.** Este reflejo protector evita que el exceso de luz brillante dañe los delicados fotorreceptores. Las pupilas también se contraen reflexivamente al ver objetos cercanos; este **reflejo pupilar de adaptación** ofrece una visión más aguda.

La lectura requiere un trabajo casi continuo por parte de ambos grupos musculares. Los músculos del cuerpo ciliar hacen que la lente se abombe, y los músculos circulares (o *constrictores*) del iris producen el reflejo pupilar de adaptación. Asimismo, los músculos extrínsecos deben hacer que los ojos converjan y moverlos para seguir las líneas impresas. Éste es el motivo por el que los largos periodos de lectura cansan los ojos y a menudo producen lo que comúnmente se conoce como *vista*

cansada. Cuando se lee durante mucho tiempo, resulta útil mirar hacia arriba de vez en cuando y clavar la vista fijamente a lo lejos. Esto relaja los músculos oculares temporalmente.

¿LO HAS ENTENDIDO?

8. ¿Cuáles son los medios refractarios del ojo?
9. ¿Cómo se llama la capacidad del ojo para enfocar objetos cercanos?
10. ¿Cuál es la diferencia entre el tracto óptico y el nervio óptico?
11. ¿De qué forma protege los ojos el reflejo pupilar?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE II: LA OREJA: EL OÍDO Y EL EQUILIBRIO

A primera vista, la maquinaria del oído y el equilibrio parece muy rudimentaria. Los líquidos deben moverse para estimular los receptores de la oreja: las vibraciones sonoras mueven el líquido para estimular los receptores auditivos, mientras que los movimientos bruscos de la cabeza agitan los líquidos que rodean a los órganos del equilibrio. Los receptores que responden a tales fuerzas físicas se denominan **mecanorreceptores.** El aparato auditivo nos permite oír una extraordinaria variedad de sonidos, y los receptores del equilibrio de gran sensibilidad mantienen el sistema nervioso continuamente al tanto de la posición y los movimientos de la cabeza. Sin esta información, resultaría difícil (si no imposible) mantener el equilibrio. Aunque estos dos órganos de los sentidos están alojados juntos en la oreja, sus receptores responden a distintos estímulos y se activan de forma independiente.

Anatomía de la oreja

Anatómicamente, la oreja se encuentra dividida en tres zonas principales: el oído externo, el oído medio y el oído interno (véase la figura 8.12). Las estructuras del oído medio y externo influyen *sólo* en el oído. El oído interno funciona tanto para el equilibrio como para el oído.

El oído externo

El **oído externo** consta de la aurícula y del meato acústico externo. La **aurícula** (o **pabellón auricular**) es lo que la mayor parte de las personas denomina "oreja", la estructura con forma de concha que rodea a la abertura del canal auditivo. En muchos animales, la aurícula recopila y dirige las ondas sonoras al canal auditivo, pero en los humanos esta función se ha perdido en gran medida.

El **meato acústico externo** (o *canal auditivo*) es una cámara corta y estrecha (de unos 2,5 cm de largo por 0,64 cm de ancho) tallada en el hueso temporal del cráneo. En sus paredes, como la piel, se encuentran las **glándulas ceruminosas,** que secretan cera amarilla denominada **cerumen** o **cera del oído,** que proporciona una trampa pegajosa para los cuerpo extraños y para repeler a los insectos.

Las ondas sonoras que entran al canal auditivo golpean en la **membrana timpánica** (*tímpano* = tambor), o **tambor del oído,** y hacen que vibre. El canal termina en el tambor del oído, que separa el oído externo del medio.

El oído medio

El **oído medio** (o **cavidad timpánica**) es una pequeña cavidad rodeada de mucosa y llena de aire dentro del hueso temporal. Está flanqueado lateralmente por el tambor del oído y en su parte medial por una pared ósea con dos aberturas, la **ventana oval** y la **ventana redonda** inferior cubierta por membrana. El **tubo faringotimpánico** (o **trompa de Eustaquio**) se extiende de forma oblicua hacia abajo para unir el oído medio a la garganta, y las mucosas que rodean a las dos zonas son continuas. Normalmente, el tubo faringotimpánico es plano y cerrado, pero al tragar o bostezar puede abrirse brevemente para igualar la presión de la cavidad del oído medio con la presión externa (o atmosférica). Se trata de una función importante porque el tambor del oído no vibra con total libertad a menos que la presión en ambas superficies sea la misma. Cuando las presiones son distintas, el tambor del oído se abomba hacia dentro o hacia fuera, lo que dificulta la audición (puede que las voces se oigan lejanas); algunas veces produce dolor en la zona. La sensación de oído taponado que se produce al igualarse las presiones es familiar para cualquiera que haya volado en avión.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La inflamación del oído medio **(otitis media)** es una consecuencia bastante común del dolor de garganta, especialmente en los niños, cuyo tubo faringotimpánico está dispuesto en una posición más horizontal. En la otitis media, el tambor del oído se abomba y a menudo se inflama. Cuando se acumula una gran cantidad de líquido o pus en la cavidad, puede que sea necesario practicar una *miringotomía* de urgencia (abrir el tambor del oído con una lanceta)

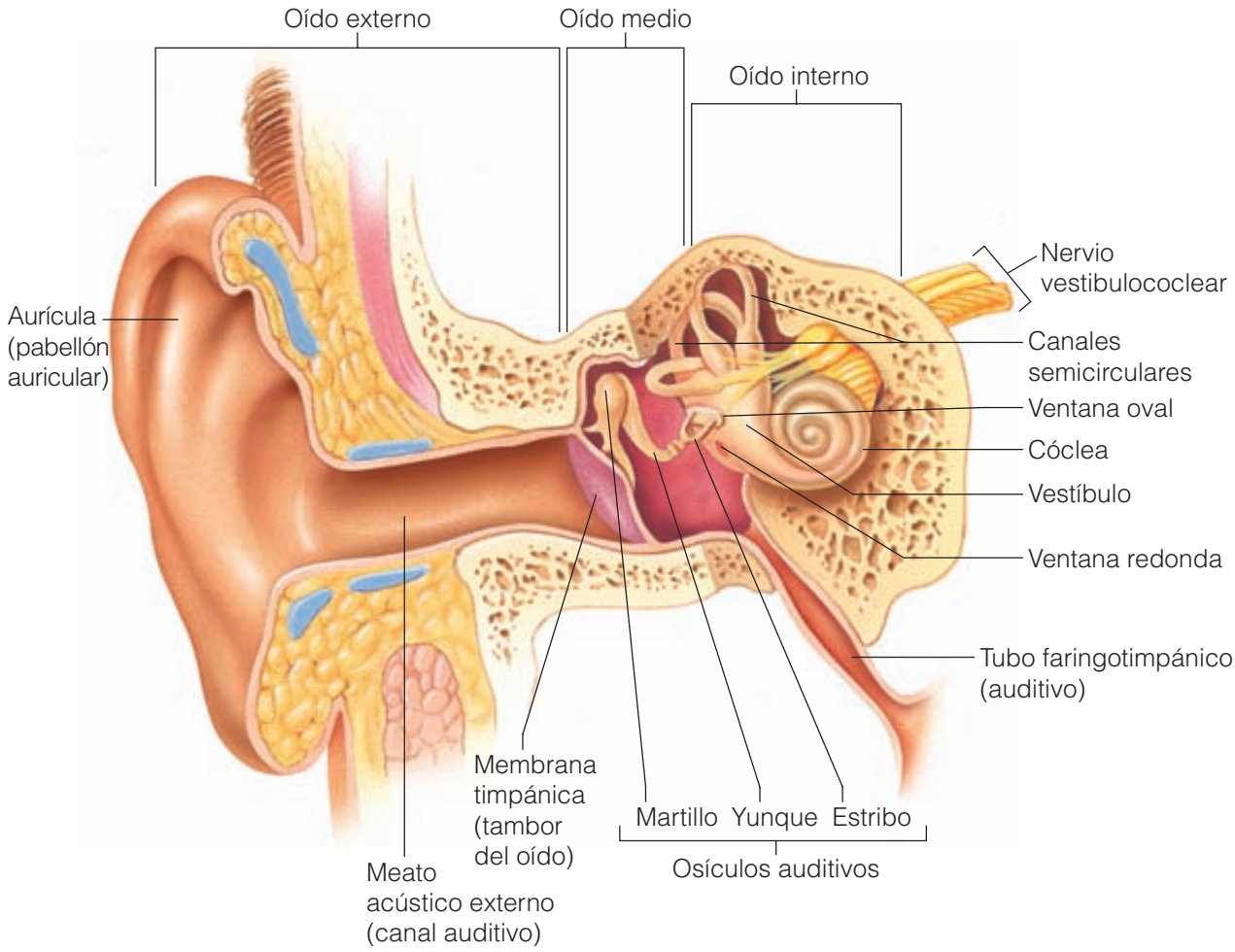


FIGURA 8.12 **Anatomía de la oreja.**

para liberar la presión. Se implanta un tubo diminuto en el tambor que permite drenar la pus al canal auditivo externo. El tubo suele caerse sólo en el primer año de vida. ▲

El curso más horizontal del tubo faringotimpánico en los bebés también explica por qué no es una buena idea que "sujeten" el biberón o alimentarlos cuando están tumbados (una situación que favorece la entrada de alimentos en dicho tubo).

La cavidad timpánica la abarcan los tres huesos más pequeños del cuerpo, los **osículos,** que transmiten la vibración del tambor del oído a los líquidos del oído interno (véase la Figura 8.12). Dichos huesos, denominados por su forma, son el **martillo,** el **yunque** y el **estribo.** Cuando se mueve el tambor del oído, el martillo también se mueve y transfiere la vibración al yunque. El yunque, por su parte, pasa la vibración al estribo, que presiona en la ventana oval del oído interno. El movimiento de la ventana oval pone los líquidos del oído interno en movimiento, lo que posteriormente excita a los receptores auditivos.

El oído interno

El **oído interno** es un laberinto de cámaras óseas denominado **laberinto óseo,** que se encuentra en lo profundo del hueso temporal detrás de la cuenca del ojo. Las tres subdivisiones del laberinto óseo son la **cóclea** en espiral, del tamaño de un guisante, el **vestíbulo** y los **canales semicirculares.** El vestíbulo se sitúa entre los canales semicirculares y la cóclea. Las vistas del laberinto óseo que suelen aparecer en libros de texto, como éste, son algo confusas porque realmente nos estamos refiriendo a una cavidad. La vista

de la Figura 8.12 puede compararse con el *molde* de un laberinto óseo; es decir, un laberinto lleno de férula de yeso y en el que, a continuación, se han extraído las paredes óseas tras endurecerse el yeso. La forma del yeso revela así la forma de la *cavidad* que se extiende hasta el hueso temporal.

El laberinto óseo está lleno de un líquido como el plasma denominado **perilinfa.** Suspendido de la perilinfa hay un **laberinto membranoso,** un sistema de sacos membranoso que sigue más o menos la forma del laberinto óseo. El propio laberinto membranoso contiene un líquido más espeso denominado **endolinfa.**

¿LO HAS ENTENDIDO?

12. ¿Qué región/regiones del oído (externo, medio o interno) sirven sólo para oír?
13. ¿Qué estructuras del oído transmiten vibraciones sonoras desde el tambor hasta la ventana oval?

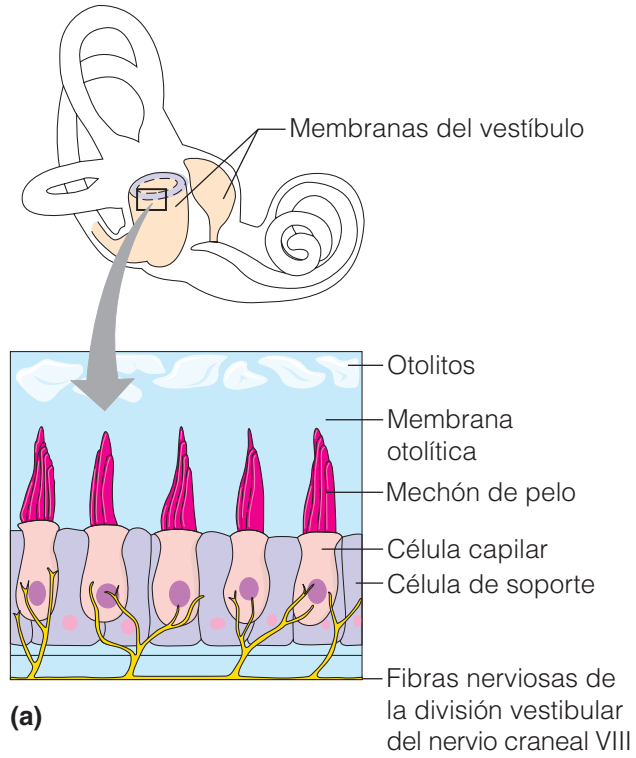
Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Mecanismos del equilibrio

El sentido del equilibrio no es fácil de describir porque no "ve", "oye" ni "siente". Lo que *hace* es responder (con frecuencia de forma inconsciente para nosotros) a varios movimientos de cabeza. Los receptores del equilibrio del oído interno, denominados en conjunto **aparato vestibular,** pueden dividirse en dos brazos funcionales; un brazo es el encargado de controlar el *equilibrio estático,* y el otro está involucrado en el *equilibrio dinámico.*

Equilibrio estático

En los sacos membranosos del vestíbulo hay receptores denominados **máculas** ("puntos") que son fundamentales para nuestro sentido del **equilibrio estático** (Figura 8.13). Las máculas informan sobre los cambios de posición de la cabeza en el espacio con respecto al empuje de la gravedad cuando el cuerpo no está en movimiento (*estático* = en reposo). Puesto que proporcionan información sobre cómo subir o bajar, nos ayudan a mantener la cabeza erguida. Las máculas son extremadamente importantes para los buzos que nadan en oscuras profundidades (donde la mayoría de los demás sentidos de la orientación son nulos), lo que les indica cuál es el camino hacia arriba (a la superficie). Cada mácula es un parche de células receptoras (capilares) con sus "pelos" incrustados en la



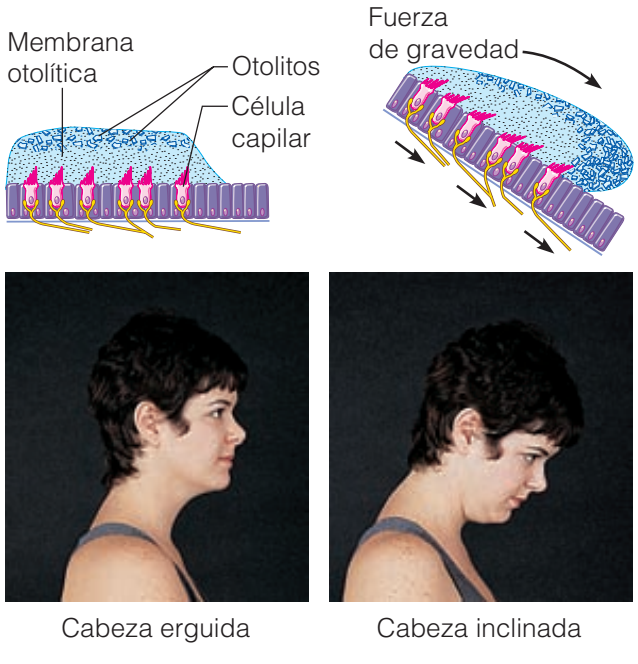


FIGURA 8.13 Estructura y función de las máculas (receptores del equilibrio estático).
(a) Vista esquemática de parte de una mácula.
(b) Al inclinar la cabeza, las máculas se estimulan mediante el movimiento de los otolitos de la gelatinosa membrana otolítica en la dirección de la fuerza gravitatoria, lo que crea un empuje sobre las células capilares.

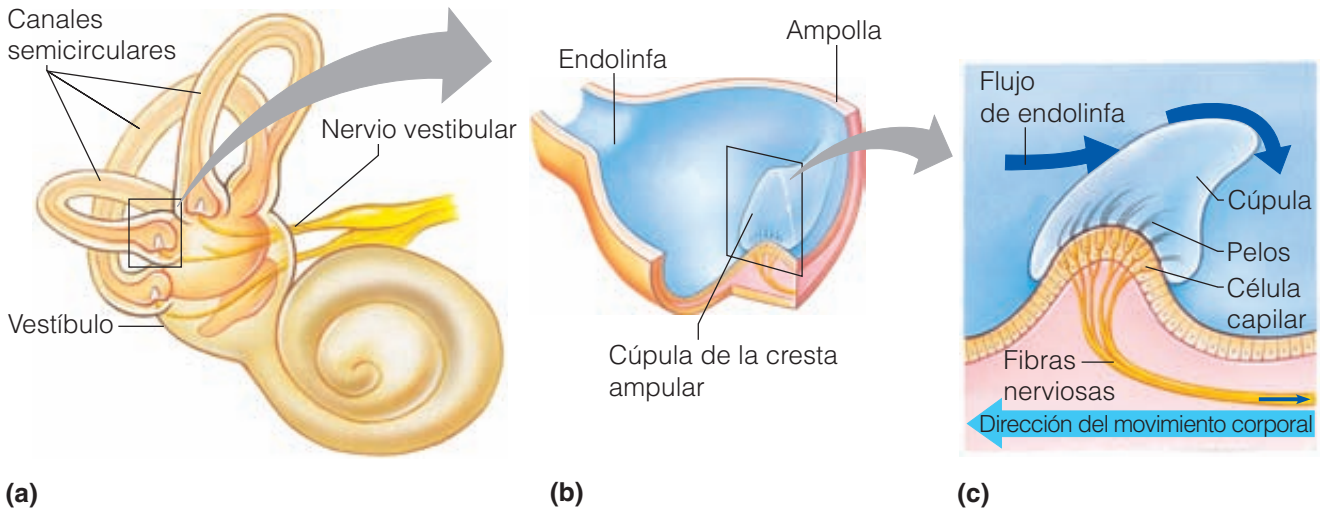


FIGURA 8.14 Estructura y función de la cresta ampular (zona de receptores del equilibrio dinámico). (a) Organizada en tres planos espaciales, los conductos semicirculares de los canales semicirculares poseen cada uno un bulto en su base denominado ampolla. **(b)** Cada ampolla contiene una cresta ampular, un receptor que es esencialmente una agrupación de células capilares con pelos que se proyectan en una capa gelatinosa denominada cúpula. **(c)** Al cambiar la posición de la cabeza en dirección angular, la inercia hace que la endolinfa de los conductos semicirculares se quede atrás, y a medida que se mueve la cúpula la arrastra a través de la endolinfa inclinando las células capilares en dirección contraria. Esta inclinación provoca una mayor transmisión de impulsos en las neuronas sensoriales. Este mecanismo se ajusta rápidamente si el movimiento angular (o rotativo) continúa a una velocidad constante.

membrana capilar otolítica, una masa parecida a la gelatina tachonada con **otolitos** (diminutas piedras de sales cálcicas). A medida que se mueve la cabeza, los otolitos giran en respuesta a los cambios del empuje de la gravedad. Este movimiento crea un empuje sobre el gel, que a su vez se desliza como una placa grasienta sobre las células capilares, de modo que inclina sus pelos. Este acto activa las células capilares, que envían impulsos a lo largo del **nervio vestibular** (una división del nervio craneal VIII) hasta el cerebelo del cerebro, para informarle de la posición de la cabeza en el espacio.

Equilibrio dinámico

Los receptores del **equilibrio dinámico,** que se encuentran en los canales semicirculares, responden a los movimientos angulares o rotativos de la cabeza en vez de a los movimientos en línea recta. Al girar en una pista de baile o experimentar un accidentado viaje en barca, estos receptores están en constante funcionamiento. Los canales semicirculares (cada uno de 1,3 cm aprox.) están orientados en tres planos espaciales. Así, independientemente del plano en el que uno se mueva, habrá receptores para detectar el movimiento.

En la *ampolla*, una zona hinchada de la base de cada canal membranoso semicircular, hay una zona de receptores denominada **cresta ampular** (o simplemente *cresta*) que consta de un mechón de células capilares cubierto por una capa gelatinosa denominada **cúpula** (Figura 8.14). Al mover la cabeza en dirección angular o formando un arco, la endolinfa del canal se queda atrás. A continuación, a medida que la cúpula se arrastra en contra de la endolinfa estacionaria, la cúpula se curva, como una puerta de vaivén, con el movimiento del cuerpo. Esto estimula las células capilares, y los impulsos se transmiten hacia arriba desde el **nervio vestibular** hasta el cerebelo. Al curvar la cúpula en dirección opuesta, se reduce la generación de impulsos. Al moverse a un índice constante, los receptores van dejando de enviar impulsos gradualmente y dejamos de experimentar la sensación de movimiento

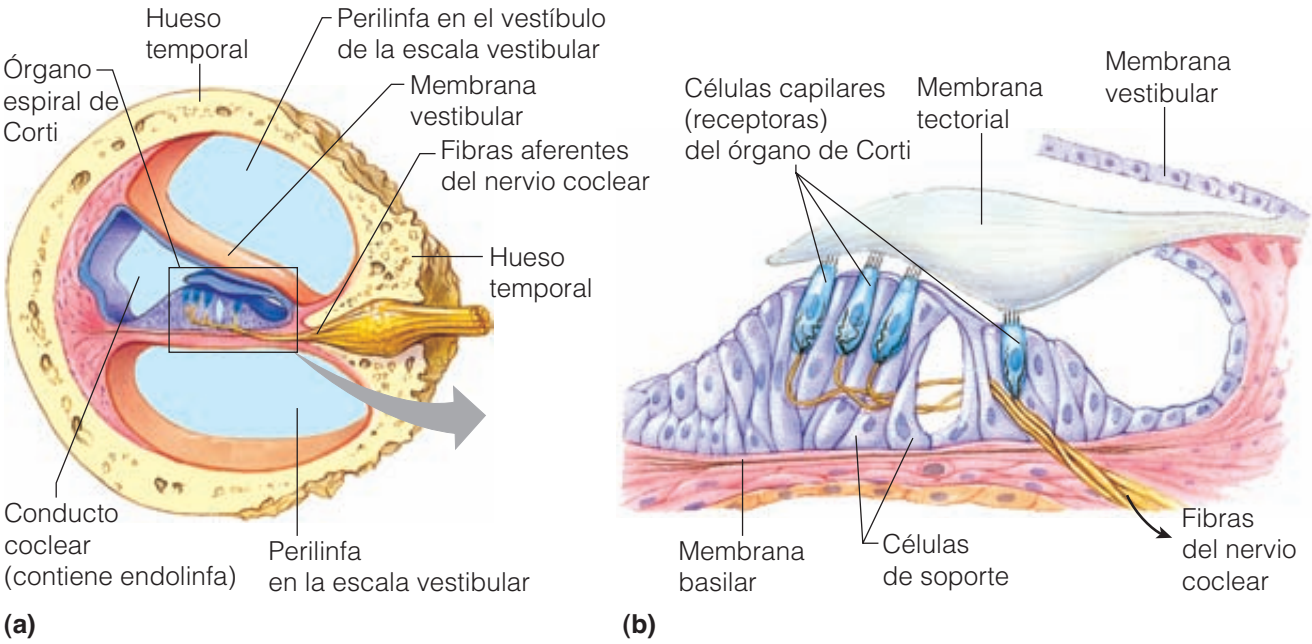


FIGURA 8.15 **Anatomía de la cóclea. (a)** Vista transversal de un giro de la cóclea, que muestra la posición del órgano espiral de Corti en el conducto coclear. Las cavidades del laberinto óseo contienen perilinfa. El conducto coclear contiene endolinfa. **(b)** Estructura detallada del órgano de Corti. Las células receptoras (células capilares) descansan en la membrana basilar.

hasta que cambia nuestra velocidad o dirección de movimiento.

Aunque los receptores de los canales semicirculares y el vestíbulo son los encargados del equilibrio dinámico y estático, respectivamente, éstos suelen actuar juntos. Además de estos sentidos del equilibrio, la vista y los proprioceptores de los músculos y tendones también son importantes para proporcionar información utilizada para controlar el equilibrio en el cerebelo.

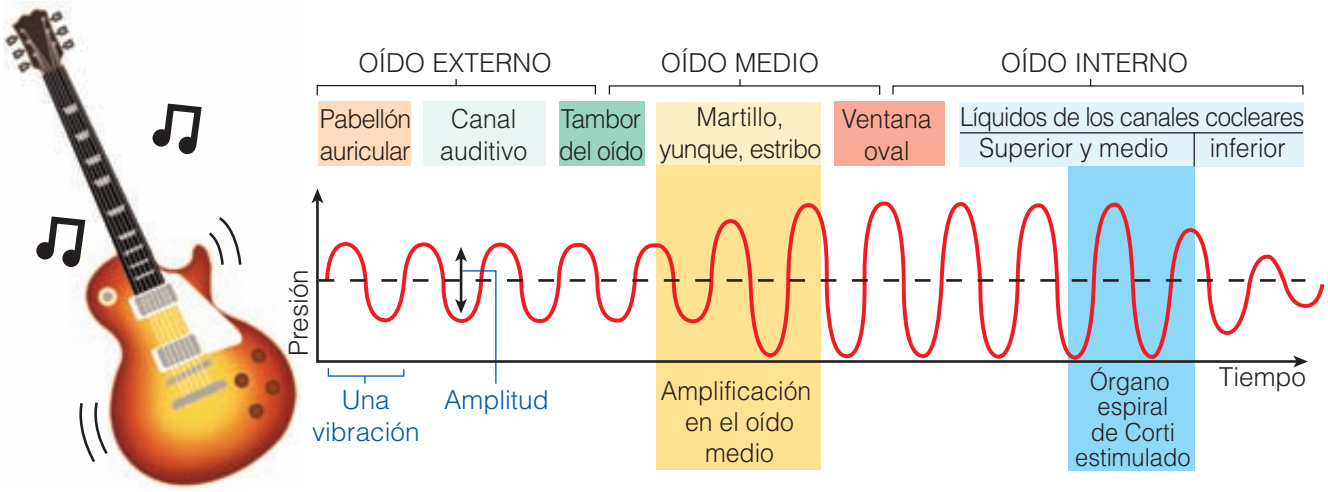
¿LO HAS ENTENDIDO?

14. ¿A qué sentido pertenecen el vestíbulo y los canales semicirculares?
15. Benjamín está disfrutando de un viaje en barca hasta que de repente se desencadena una tormenta en la bahía. Pronto siente náuseas y apenas puede mantenerse en pie. ¿Qué receptores del equilibrio (estático o dinámico) funcionan imparablemente durante un viaje tan accidentado?
16. ¿Qué son los otolitos y cuál es su función en el equilibrio?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Mecanismo del oído

En el **conducto coclear,** el laberinto membranoso de la cóclea que contiene endolinfa es el **órgano espiral de Corti,** que contiene los receptores auditivos, o **células capilares** (Figura 8.15a). Las cámaras (escalas) por encima y por debajo del conducto coclear contienen perilinfa. Las ondas sonoras que llegan a la cóclea mediante vibraciones del tambor del oído, los osículos y la ventana oval ponen los líquidos cocleares en movimiento (Figura 8.16). A medida que las ondas sonoras se transmiten mediante los osículos desde el tambor del oído hasta la ventana oval, su fuerza (amplitud) se ve aumentada por la actividad de palanca de los osículos. De esta forma, casi la fuerza total ejercida en el tambor del oído, que es mucho más grande, alcanza a la diminuta ventana oval que, a su vez, pone los líquidos del oído interno en movimiento, y estas ondas de presión crean vibraciones en la **membrana basilar.** Las células receptoras, colocadas en la membrana basilar del órgano espiral de Corti, se estimulan cuando los "pelos" se inclinan o pellizcan por el movimiento de la **membrana tectoria,** similar al gel que se encuentra sobre ellas (Figura 8.15b). La longitud de las fibras que cubren la membrana basilar sin-



(a)

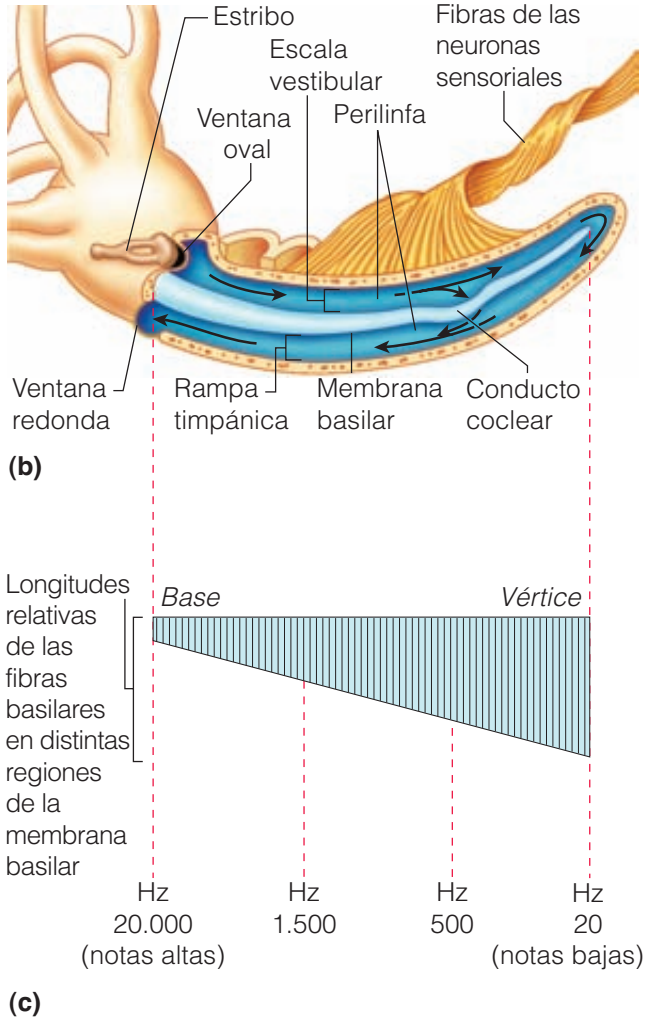


FIGURA 8.16 Ruta de las ondas sonoras a través del oído y activación de las células capilares cocleares. (a) Para excitar las células capilares del órgano de Corti en el oído interno, las vibraciones de las ondas sonoras deben atravesar el aire, las membranas, el hueso y el líquido. **(b)** La cóclea está dibujada como si estuviera desenrollada para facilitar el seguimiento de los eventos de la transmisión sonora que se producen allí. Las ondas sonoras de baja frecuencia que se encuentran por debajo del nivel de audición viajan rodeando todo el conducto coclear sin excitar a las células capilares. Sin embargo, los sonidos de mayor frecuencia provocan ondas de presión que penetran a través del conducto coclear y la membrana basilar para llegar hasta la rampa timpánica. Esto permite que la membrana basilar vibre al máximo en determinadas zonas en respuesta a frecuencias sonoras concretas, de modo que estimula ciertas células capilares y neuronas sensoriales. La estimulación diferencial de las células capilares se percibe en el cerebro como sonido de un alcance determinado. **(c)** La longitud de las fibras que cubren la membrana basilar sintoniza zonas específicas para vibrar a determinadas frecuencias. Las notas más altas, de 20.000 hertzios (Hz), las detectan las células capilares más cortas a lo largo de la base de la membrana basilar.

toniza zonas específicas para vibrar a determinadas frecuencias. En general, los sonidos de gran alcance afectan a las fibras más cortas de la membrana basilar y estimulan a las células receptoras cercanas a la ventana oval, mientras que los sonidos de escaso alcance afectan a las fibras largas y activan células capilares específicas muchos más allá de la cóclea (véase la Figura 8.16). Una vez estimuladas, las células capilares transmiten impulsos a lo largo del **nervio coclear** (una división del nervio craneal VIII, el nervio vestibulococlear) hasta la corteza auditiva del lóbulo temporal, donde se interpreta el sonido (o se oye). Puesto que el sonido suele alcanzar a los dos oídos en momentos distintos, puede decirse que oímos "en estéreo". Desde el punto de vista funcional, esto nos ayuda a determinar de dónde proceden los sonidos de nuestro entorno.

Cuando los mismos sonidos (o tonos) llegan siempre hasta el oído, los receptores auditivos tienden a *adaptarse* (o dejar de responder) a dichos sonidos, y dejamos de ser conscientes de ellos. Éste es el motivo por el que el zumbido continuo de un motor en funcionamiento no nos llama la atención después de los primeros segundos. No obstante, el oído es el último sentido que abandona nuestra parte consciente cuando nos quedamos dormidos o nos anestesian (o al morir) y es el primero que recuperamos al despertarnos.

Deficiencias auditivas y del equilibrio

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los niños con problemas o deficiencias auditivas suelen tirarse de las orejas o no responden cuando se les habla. En tales condiciones, se realiza un examen con un diapasón o una audiometría para diagnosticar el problema. La **sordera** se define como la *pérdida auditiva de cualquier grado*; desde una ligera pérdida hasta la incapacidad total para oír sonidos. En términos generales, hay dos tipos de sordera: de conducción y neurosensitiva. La **sordera de conducción,** ya sea temporal o permanente, se produce cuando algo interfiere con la transmisión de las vibraciones sonoras a los líquidos del oído interno. La causa puede ser algo tan simple como una acumulación de cera. Otras causas de sordera de conducción incluyen la fusión de los osículos (un problema denominado **otosclerosis,** la ruptura del tambor del oído y la *otitis media*.

La **sordera neurosensitiva** se produce al degenerarse o dañarse las células receptoras del órgano espiral de Corti, el nervio coclear o las neuronas de la corteza auditiva. A menudo esto es una consecuencia de la escucha prolongada de sonidos excesivamente altos. Así, mientras que la sordera de conducción se produce a partir de factores mecánicos, la sordera neurosensitiva es un problema de las estructuras del sistema nervioso.

Una persona que presente una pérdida auditiva debido a la sordera de conducción aún podrá oír mediante la transmisión ósea, incluso aunque su capacidad para oír sonidos transmitidos por el aire (la ruta normal de transmisión) se reduzca o se pierda. En cambio, los individuos con sordera neurosensitiva no pueden oír mejor mediante *ninguna* ruta de transmisión. Las ayudas auditivas, que utilizan los huesos del cráneo para transmitir las vibraciones sonoras al oído interno, consiguen en general ayudar a oír a las personas con sordera de conducción. Resultan menos útiles para la sordera neurosensitiva.

Los problemas del equilibrio suelen ser obvios. Los síntomas comunes son náuseas, mareos y dificultad para mantener el equilibrio, especialmente cuando los impulsos del aparato vestibular "discrepan" con lo que vemos (entrada visual). También pueden producirse extraños movimiento oculares (bruscos o giratorios).

Una patología grave del oído interno es el **síndrome de Ménière.** La causa exacta de esta enfermedad no se conoce por completo, pero entre las causas posibles se incluyen la arteriosclerosis, la degeneración del nervio craneal VIII y el aumento de presión de los líquidos del oído interno. El síndrome de Ménière produce una sordera progresiva. Los individuos afectados padecen náuseas y a menudo oyen gritos o pitidos y experimentan **vértigos** (sensación de que todo da vueltas) de tal intensidad que no pueden levantarse sin sentir una extrema incomodidad. Los antibióticos contra los mareos por el movimiento suelen prescribirse para reducir el malestar. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

17. Desde el aire exterior al cuerpo, ¿a través de qué sustancias se desplazan las ondas sonoras para excitar las células receptoras de la cóclea?
18. ¿Qué nervio transmite impulsos desde el órgano espiral del Corti hasta el cerebro?
19. ¿Los sonidos agudos se oyen cerca o lejos de la ventana oval?
20. ¿En qué se diferencia la sordera neurosensitiva de la sordera conductiva?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

P *¿Cómo ayuda el olor a identificar los olores?*

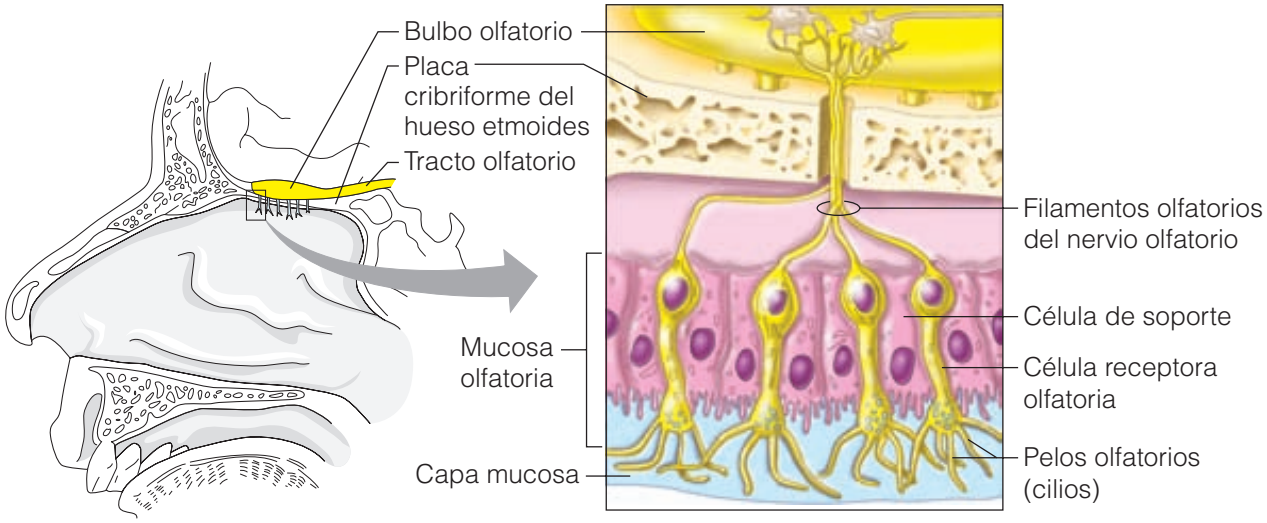


FIGURA 8.17 **Ubicación y formación celular del epitelio olfatorio.**

PARTE III: SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO Y OLFATO

Los receptores gustativos y olfatorios se clasifican como **quimiorreceptores** porque responden a sustancias químicas en soluciones. Se han identificado cinco tipos de receptores gustativos, pero se cree que los receptores olfatorios (del olfato) son sensibles a un rango mucho mayor de sustancias químicas. Los receptores del olfato y el gusto se complementan entre sí y responden a muchos estímulos iguales.

Los receptores olfatorios y el sentido del olfato

Incluso aunque nuestro sentido del olfato es bastante menos agudo que el de muchos otros animales, la nariz humana no es nada perezosa en captar pequeñas diferencias entre los olores. Algunas personas sacan partido de su capacidad para convertirse en mezcladores de tés y café, perfumeros o catadores de vino.

Los miles de **receptores olfatorios,** receptores del sentido del olfato, ocupan una zona del tamaño de un sello de correos en el techo de cada cavidad nasal (Figura 8.17). El aire que entra en las cavidades nasales debe realizar un giro muy cerrado para acceder a las vías respiratorias de debajo, así que olfatear, que hace que fluya más aire en la parte superior a través de los receptores olfatorios, intensifica el sentido del olfato.

Las **células receptoras olfatorias** son neuronas equipadas con **pelos olfatorios,** largos cilios que sobresalen del epitelio nasal y están continuamente bañados por una capa de moco secretado por las glándulas subyacentes. Cuando alguna sustancia química disuelta en el moco estimula los receptores olfatorios ubicados en los cilios, éstos transmiten impulsos a través de los **filamentos olfatorios,** que son axones agrupados de neuronas olfatorias que en conjunto forman el **nervio olfatorio** (nervio craneal I). El nervio olfatorio conduce los impulsos hasta la corteza olfatoria del cerebro, donde se interpreta el olor y se saca una "fotografía del olor". Las vías olfatorias están firmemente ligadas al sistema límbico (parte emocional y visceral del cerebro). Así, las impresiones olfatorias son duraderas y en gran medida una parte de nuestros recuerdos y emociones. Por ejemplo, el olor de las galletas con trocitos de chocolate puede recordarnos a nuestra abuela, y el olor de

R *Pone más aire oloroso en contacto con los receptores olfatorios de la parte superior de la cavidad nasal.*

un determinado tabaco de pipa puede hacernos pensar en nuestro padre. Hay olores a hospital, a colegio, a bebé, a viaje. La lista es casi infinita. Nuestras reacciones a los olores rara vez son neutras. Tenemos tendencia a que determinados olores nos gusten o disgusten, y cambiamos, evitamos o añadimos olores según nuestras preferencias.

Los receptores olfatorios son exquisitamente sensibles; tan sólo pueden activarlos unas cuantas moléculas. Al igual que los receptores auditivos, las neuronas olfatorias tienden a adaptarse con bastante rapidez cuando están expuestas a un estímulo invariable, en este caso, un olor. Éste es el motivo por el que las mujeres dejan de oler su propio perfume tras un rato, pero captan rápidamente el olor de otro perfume en otra persona.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Mientras que es posible tener deficiencias gustativas u olfatorias, la mayoría de las personas que buscan ayuda médica por perder los sentidos químicos presenta trastornos olfatorios (o **anosmias**). La mayor parte de las anosmias son el resultado de lesiones en la cabeza, los efectos posteriores de la inflamación de la cavidad nasal (debido a un resfriado, una alergia o el tabaco) o el envejecimiento. Algunos trastornos cerebrales pueden destruir el sentido del olfato o imitarlo. Por ejemplo, algunos epilépticos experimentan **auras olfatorias** (alucinaciones olfatorias) justo antes de sufrir los ataques. ▲

Papilas gustativas y el sentido del gusto

El término *gusto* procede de la palabra latina *taxare,* que significa "tocar, estimar o juzgar". Cuando saboreamos algo, en realidad estamos probando o juzgando nuestro entorno de una forma íntima, y muchos consideran el sentido del gusto el más placentero de nuestros sentidos especiales.

Las **papilas gustativas,** o receptores específicos del sentido del gusto, están distribuidas en la cavidad oral. De las aproximadamente 10.000 papilas gustativas que poseemos, la mayoría están en la lengua. Unas cuantas se hallan en el paladar blando y la superficie interna de las mejillas.

La superficie dorsal de la lengua está cubierta de pequeñas proyecciones de fijación (o **papilas**). Las papilas gustativas se encuentran a los lados de las grandes **papilas circunvaladas** redondas y en la parte superior de las **papilas fungiformes** más numerosas (Figura 8.18). Las células específicas que responden a las sustancias químicas disueltas en la saliva son las células epiteliales denominadas **células gustativas.** Sus largas microvellosidades (los **pelos gustativos**) sobresalen del **poro gustativo,** y cuando se los estimula, se despolarizan y los impulsos se transmiten hasta el cerebro. Tres nervios craneales (VII, IX y X) transportan los impulsos gustativos desde las distintas papilas gustativas hasta la corteza gustativa. El **nervio facial** (VII) actúa en la parte anterior de la lengua. Los otros dos nervios craneales (el **glosofaríngeo** y el **vago**) actúan en las demás zonas que contienen papilas gustativas. Debido a su ubicación, las células de las papilas gustativas experimentan una inmensa fricción y suelen quemarse con los alimentos calientes. Afortunadamente, se encuentran entre las células más dinámicas del organismo y son sustituidas cada siete o diez días por las **células basales** (células madre) que se encuentran en las regiones más profundas de las papilas gustativas.

Hay cinco tipos básicos de sensaciones gustativas, cada una de las cuales corresponde a la estimulación de uno de los cinco tipos principales de papilas gustativas. Los *receptores dulces* responden a sustancias como los azúcares, la sacarina, algunos aminoácidos y algunas sales de plomo (como las que se encuentran en la pintura de plomo). Los *receptores cítricos* responden a iones de hidrógeno (H^+), o a la acidez de la solución; los *receptores amargos,* a los alcaloides; y los *receptores salados* a iones metálicos en solución. El *umami* ("deliciosos"), un gusto descubierto por los japoneses, lo provoca el aminoácido glutamato, que parece ser el responsable del "sabor de la carne" de un filete y del sabor del glutamato monosódico, un aditivo alimentario.

Antiguamente se creía que la punta de la lengua era la más sensible a las sustancias dulces y saladas, sus lados a las cítricas, la parte trasera de la lengua a las amargas y la faringe al *umami.* En realidad, sólo hay ligeras diferencias en las ubicaciones de los receptores gustativos de las distintas regiones de la lengua, y la mayoría de las papilas gustativas responden a dos, tres, cuatro o incluso a las cinco modalidades gustativas.

Los gustos o aversiones gustativos tienen un valor homeostático. El gusto por el azúcar y la sal satisfará las necesidades corporales de hidratos de carbono y minerales (así como algunos aminoácidos). Muchos alimentos cítricos, ácidos por naturaleza (como las naranjas, los limones y los tomates) son fuentes ricas en vitamina C, una vitamina esencial. El *umami* guía el aporte de proteínas, y puesto que muchos venenos naturales y alimentos deteriorados son amargos, nuestra aversión por los sabores amargos es protectora.

El gusto está afectado por muchos factores, y lo que comúnmente hace referencia a nuestro sentido del gusto depende en gran medida de la estimulación de nuestros receptores olfatorios por parte de los aromas. Piensa en lo insípida que resulta la comida cuando tenemos las vías nasales congestionadas por un resfriado. Sin el sentido del olfato, el típico café

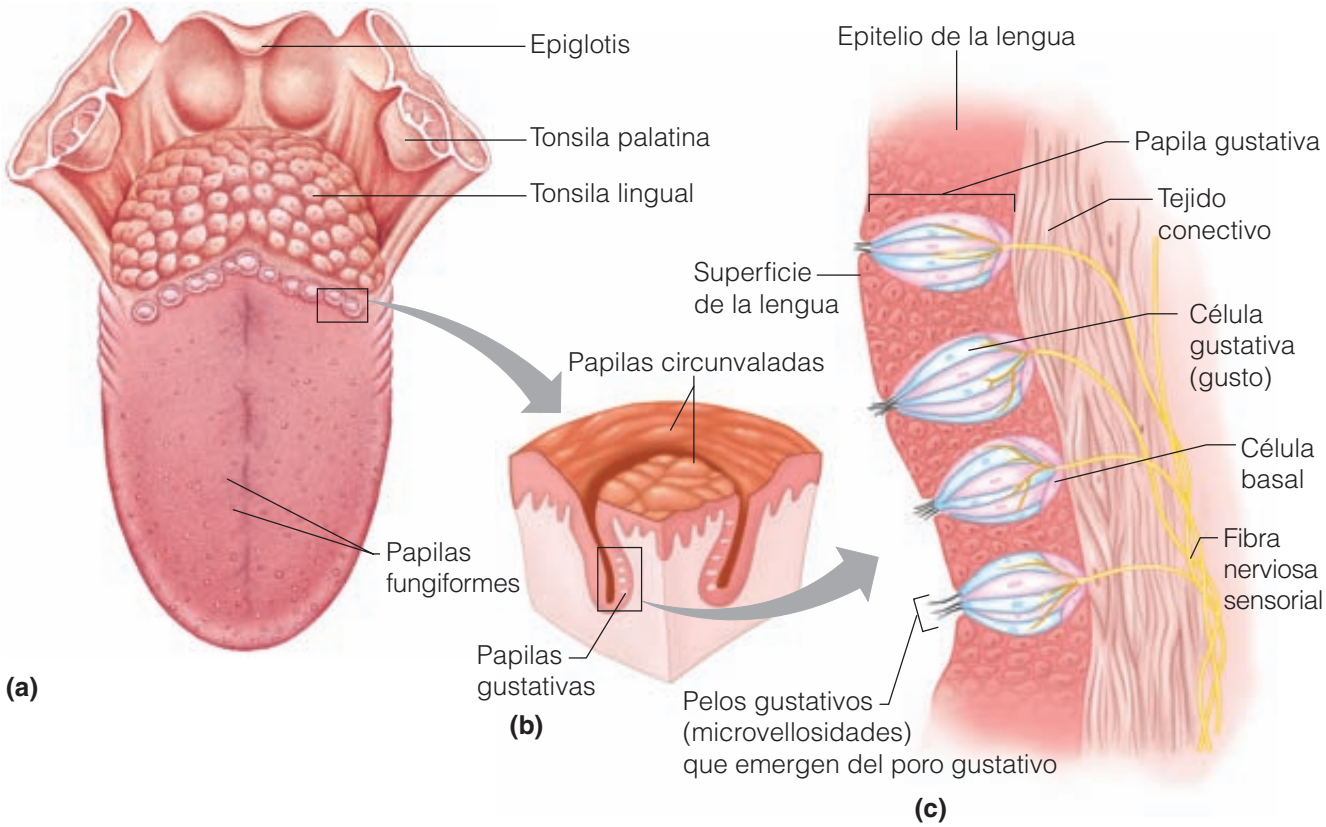


FIGURA 8.18 Ubicación y estructura de las pilas gustativas.
(a) Las papilas gustativas de la lengua están asociadas a las papilas, proyecciones de la mucosa de la lengua. **(b)** Una papila circunvalada muestra la posición de las papilas gustativas en sus paredes laterales. **(c)** Vista ampliada de cuatro papilas gustativas.

matutino simplemente sabría más amargo. Asimismo, la temperatura y textura de los alimentos pueden mejorar o deteriorar su sabor para nosotros. Por ejemplo, algunas personas no comerán alimentos de textura pastosa (aguacates) o arenosa (peras), y casi todo el mundo considera inadecuado comerse una hamburguesa fría y grasienta. Los alimentos picantes, como las guindillas, estimulan en realidad los receptores del dolor de la boca.

¿LO HAS ENTENDIDO?

21. ¿Qué nombre se utiliza para describir los receptores gustativos y olfatorios? ¿Por qué?
22. ¿Dónde (en relación con las estructuras específicas) se encuentran la mayoría de las papilas gustativas?
23. ¿Por qué ayuda olfatear las sustancias que olemos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE IV: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LOS SENTIDOS ESPECIALES

Los órganos de los sentidos especiales, una parte esencial del sistema nervioso, se forman muy pronto en el desarrollo embrionario. Por ejemplo, los ojos, que son literalmente extensiones del cerebro, se desarrollan a la cuarta semana. Todos los sentidos especiales empiezan a funcionar, en mayor o menor grado, en el nacimiento.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los problemas oculares congénitos son relativamente poco comunes, pero se pueden proporcionar algunos ejemplos. El **estrabismo,** denominado comúnmente "ojos

cruzados", es la consecuencia del empuje desigual de los músculos oculares externos que evitan que el bebé coordine el movimiento de los dos ojos. En primer lugar, se realizan ejercicios para fortalecer los músculos oculares más débiles o puede cubrirse el ojo más fuerte con un parche ocular para forzar el fortalecimiento de los músculos más débiles. Si estas medidas no tienen éxito, siempre se recurre a la cirugía para corregir la enfermedad ya que, si persiste, puede que el cerebro deje de reconocer las señales procedentes del ojo con la desviación, de modo que el ojo se quede ciego.

Las infecciones maternas, especialmente la *rubeola* (sarampión), que se producen al principio del embarazo, pueden producir ceguera congénita o cataratas. Si la madre presenta un tipo de enfermedad venérea denominada *gonorrea,* los ojos del bebé estarán infectados por las bacterias durante el parto. En la *conjuntivitis* resultante, específicamente denominada **oftalmia neonatal,** los párpados del bebé se enrojecen y se hinchan, y se forma pus. Todos los estados requieren legalmente que los ojos de todos los neonatos se traten de forma rutinaria y breve con nitrato de plata o antibióticos después del nacimiento. ▲

En términos generales, la vista es el único sentido especial que no es totalmente funcional al nacer, y se necesitan muchos años de "aprendizaje" antes de que los ojos hayan madurado por completo. Los globos oculares continúan aumentando hasta los 8 ó 9 años, pero la lente crece durante toda la vida. Al nacer, los globos oculares están escorzados y todos los bebés son hiperopes (hipermétropes). A medida que crecen los ojos, esta enfermedad suele corregirse por sí sola. El neonato ve sólo en escala de grises, los movimientos oculares son descoordinados y, con frecuencia, sólo se utiliza un ojo cada vez. Puesto que las glándulas lagrimales no están totalmente desarrolladas hasta unas dos semanas después del nacimiento, el bebé carece de lágrimas durante este periodo, incluso aunque llore enérgicamente.

A los cinco meses el bebé es capaz de enfocar objetos que puede alcanzar fácilmente y de seguir objetos en movimiento, pero la agudeza visual sigue siendo escasa. Por ejemplo, un objeto que alguien con una vista madura puede ver con claridad a 60 metros de distancia debe estar a tan sólo 6 metros para que un bebé pueda verlo con nitidez. (Tal visión se denomina 6/60.) Al cumplir los cinco años, la visión en color está bien desarrollada, la agudeza visual ha mejorado en torno a una proporción de 20/30, y la percepción profunda está presente, lo que proporciona una buena disposición para empezar a leer. En la edad escolar, la hipermetropía más temprana se sustituye normalmente por la emetropía. Esta enfermedad continúa hasta los cuarenta años, cuando empieza a establecerse la **presbiopía.** La presbiopía (literalmente, "antigua vista") se produce por la disminución de la elasticidad de la lente que se origina con el envejecimiento. Esta enfermedad dificulta el enfoque para conseguir una visión cercana; es básicamente la hipermetropía. La persona que sujeta el periódico a una distancia igual a la longitud del brazo para leerlo es el ejemplo más cercano de este cambio en el desarrollo de la vista.

Cuando se empieza a envejecer, las glándulas lagrimales se vuelven menos activas, y los ojos tienden a secarse y a volverse más vulnerables a las infecciones bacterianas y la irritación. La lente pierde su claridad cristalina y se decolora. Como resultado, empieza a esparcir la luz, lo que produce una luz deslumbradora que resulta incluso dolorosa al conducir de noche. Los músculos dilatadores del iris se vuelven menos eficientes; así que, de alguna forma, las pupilas siempre están contraídas. Estas últimas dos enfermedades funcionan juntas para reducir la cantidad de luz en la retina, y la agudeza visual se reduce drásticamente hacia los 70 años de edad. Además de estos cambios, las personas mayores tienen más predisposición a determinadas enfermedades que pueden producir ceguera, como el glaucoma, las cataratas, la degeneración macular, la arteriosclerosis y la diabetes.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las anomalías congénitas de los oídos son bastante comunes. Entre los ejemplos se incluyen la falta total o parcial de los pabellones auriculares y la ausencia de meatos acústicos o que éstos estén cerrados. Las infecciones maternas pueden tener efectos devastadores en el desarrollo auditivo, y la rubeola materna produce sordera neurosensitiva durante las primeras semanas de embarazo. ▲

Un neonato puede oír tras su primer llanto, pero las respuestas tempranas a los sonidos son más reflexivas; por ejemplo, llorar y apretar los párpados en respuesta a un ruido alto. A los tres o cuatro meses, los bebés son capaces de localizar sonidos y se girarán hacia las voces de los miembros familiares. En la primera infancia, los niños escuchan fundamentalmente a medida que empiezan a imitar sonidos, y las buenas habilidades del lenguaje se asocian en gran medida a la capacidad de oír bien.

Excepto por las inflamaciones auditivas *(otitis)* resultantes de las infecciones bacterianas o las alergias, pocos son los problemas que afectan a los oídos en la niñez y la vida adulta. Sin embargo, a los sesenta se inicia un deterioro y una atrofia graduales del órgano espiral de Corti que produce la pérdida de la capacidad de oír los tonos altos y los sonidos del discurso. Esta enfermedad, **presbiacusia,** es un tipo de sordera neurosensitiva. En algunos casos, los osículos auditivos se funden **(otosclerosis),** lo que acrecenta el problema auditivo al interferir con la conducción del sonido hasta el oído interno. Puesto que muchas personas mayores se niegan a aceptar su pérdida auditiva y se resisten a utilizar mecanismos de ayuda, empiezan a confiar cada vez más

en su vista para obtener pistas sobre lo que sucede a su alrededor y se les puede acusar de ignorar a las personas. Aunque la presbiacusia se consideró en su día una discapacidad de la tercera edad, se está volviendo mucho más común en personas más jóvenes a medida que nuestro mundo se vuelve más ruidoso día a día. Este daño causado por el exceso de sonidos altos es progresivo y acumulativo. La música reproducida y oída en niveles de sordera es definitivamente un factor que contribuye al deterioro de los receptores auditivos.

Los sentidos químicos, el gusto y el olfato, son agudos en el nacimiento, y los bebés saborean algunos alimentos que los adultos consideran sosos o insípidos. Algunos investigadores afirman que el sentido del olfato es tan importante como el sentido del tacto para guiar a un neonato hasta el pecho de su madre. Sin embargo, muchos niños pequeños parecen indiferentes a los olores y pueden jugar felizmente con sus propias heces. A medida que se hacen más mayores, aumentan sus respuestas emocionales a olores específicos.

Parece haber unos cuantos problemas con los sentidos químicos durante la niñez y la edad adulta. Llegados a los 40 años de edad, nuestra capacidad para saborear y oler disminuye, lo que refleja el descenso gradual en el número de estas células receptoras. Casi la mitad de las personas con más de 80 años no huelen absolutamente nada, y su sentido del gusto es escaso. Esto puede explicar su falta de atención a los olores que antes les resultaban desagradables, y el motivo por el que los adultos mayores prefieren a menudo alimentos muy sazonados (aunque no necesariamente picantes) o pierden el apetito por completo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

24. La Sra. Fernández, de 55 años, se queja de que no puede leer sin sujetar el periódico a una distancia igual a la de la longitud de su brazo. ¿Cómo se llama su problema?
25. ¿Cuál de los sentidos especiales está menos desarrollado al nacer?
26. ¿Qué es la presbiacusia?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

Las herramientas de información mediática que proporcionan una revisión adicional de los temas principales del Capítulo 8 se indican a continuación.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

PARTE I: EL OJO Y LA VISTA (págs. 281-294)

1. Estructuras externas/secundarias del ojo:
   a. Los músculos oculares extrínsecos dirigen los ojos para seguir objetos en movimiento y para la convergencia.
   b. El aparato lagrimal incluye una serie de conductos y las glándulas lagrimales, que producen una solución salina que lava y lubrica el globo ocular.
   c. Los párpados protegen los ojos. Asociadas a las pestañas encontramos las glándulas ciliares (glándulas dulces modificadas) y las glándulas tarsianas (que producen una secreción aceitosa que ayuda a mantener el ojo lubricado).
   d. La túnica conjuntiva es una membrana mucosa que cubre la parte anterior del globo ocular y rodea los párpados. Produce un moco lubricante.
2. El globo ocular está formado por tres capas.
   a. La esclera forma la mayor parte de la capa externa, fibrosa, protectora y resistente. La parte anterior es la córnea, que es transparente para permitir que la luz entre al ojo.
   b. La capa vascular, o cubierta media, nutre las estructuras oculares internas. Su parte posterior, el coroides, está pigmentado y evita que la luz se esparza en el ojo. Las modificaciones de la parte anterior incluyen dos suaves estructuras musculares: el cuerpo ciliar y el iris (que controla el tamaño de la pupila).
   c. La capa sensorial consta de la retina bicapa, un epitelio pigmentado y el revestimiento más interno (neural), que contiene los fotorreceptores. Los bulbos son receptores de la luz tenue. Los conos son receptores que proporcionan la vista en color y una elevada agudeza visual. La fóvea central, en la que se produce el enfoque agudo, sólo contiene conos.

   WEB Actividad: Chapter 8, Internal Structures of the Eye.
3. La papila óptica (disco óptico) es el nervio óptico en que el nervio abandona la parte trasera del globo ocular.
4. La lente es la principal estructura ocular de curvación de la luz (refractora). Su convexidad aumenta mediante el cuerpo ciliar para un enfoque minucioso. En la parte anterior de la lente se encuentra el humor acuoso; en la parte posterior de la lente se encuentra el humor vítreo. Ambos humores refuerzan la estructura interna del ojo. El humor acuoso también ofrece nutrientes a la lente avascular y a la córnea.

5. Los errores de refracción incluyen la miopía, la hipermetropía y el astigmatismo. Todos pueden corregirse con unas gafas convergentes especiales.

   WEB Actividad: Chapter 8, Optics of the Eye; Special Senses Case Study.

6. La ruta de la luz a través del ojo es: córnea → humor acuoso → (a través de la pupila) → humor acuoso → lente → humor vítreo → retina.

7. La superposición de los campos y entradas visuales de los dos ojos a cada corteza óptica proporciona una profunda percepción.

8. La ruta de los impulsos nerviosos desde la retina del ojo es: nervio óptico → quiasma óptico → tracto óptico → tálamo → radiación óptica → corteza visual en el lóbulo occipital del cerebro.

9. Los reflejos oculares incluyen el fotopupilar, pupilar de adaptación y la convergencia.

PARTE II: LA OREJA: EL OÍDO Y EL EQUILIBRIO (págs. 294-300)

1. La oreja se divide en tres zonas principales.
   a. Las estructuras auditivas externas son los pabellones auriculares, los meatos acústicos externos y la membrana timpánica. El sonido que entra en el meato acústico externo hace que vibre el tambor del oído. Estas estructuras influyen únicamente en la transmisión del sonido.
   b. Las estructuras del oído medio son los osículos y el tubo faringotimpánico de la cavidad timpánica. Los osículos auditivos transmiten el movimiento vibratorio desde el tambor del oído hasta la ventana oval. El tubo faringotimpánico permite que la presión se iguale en ambos lados del tambor del oído. Estas estructuras influyen únicamente en la transmisión del sonido.
   c. El oído interno, o laberinto óseo, está formado por dos cámaras óseas (la cóclea, el vestíbulo y los canales semicirculares) en el hueso temporal. El laberinto óseo contiene perilinfa y sacos membranosos llenos de endolinfa. En los sacos membranosos del vestíbulo y de los canales semicirculares se encuentran los receptores del equilibrio. Los receptores auditivos se encuentran en las membranas de la cóclea.

   WEB Actividad: Chapter 8, Internal Structures of the Ear.

2. Los receptores de los canales semicirculares (crestas ampulares) son receptores del equilibrio dinámico, que responden a movimientos corporales angulares o rotativos. Los receptores del vestíbulo (máculas) son receptores del equilibrio estático, que responden a la fuerza de la gravedad e informan sobre la posición de la cabeza. Las entradas visual y de los propioceptores también son necesarias para el equilibrio normal.

3. Los síntomas de los problemas del aparato del equilibrio incluyen el giro involuntario de los ojos, náuseas, vértigo e incapacidad para mantenerse erguido.

4. Las células capilares del órgano espiral de Corti (el receptor del oído en la cóclea) se estimulan mediante vibraciones sonoras transmitidas a través del aire, las membranas, los huesos y los líquidos.

5. La sordera es cualquier grado de pérdida auditiva. La sordera de conducción se produce cuando se obstaculiza la transmisión de vibraciones sonoras a través del oído externo y del oído medio. La sordera neurosensitiva se produce cuando se dañan las estructuras del sistema nervioso que influyen en la audición.

PARTE III: SENTIDOS QUÍMICOS: GUSTO Y OLFATO (págs. 301-303)

1. Las sustancias químicas deben disolverse en una solución acuosa para estimular a los receptores olfativos y gustativos.

2. Los receptores olfativos (olfato) se encuentran en la parte superior de cada cavidad nasal. El olfateo facilita la entrada de más aire (con olores) en la mucosa olfatoria.

3. Las vías olfatorias están muy vinculadas al sistema límbico; los olores estimulan los recuerdos y originan respuestas emocionales.

4. Las células gustativas (gusto) se encuentran en las papilas gustativas, principalmente en la lengua. Las cinco sensaciones gustativas principales son dulce, salado, cítrico, amargo y *umami*.

5. El gusto y la apreciación de los alimentos están influidos por el sentido del olfato, así como por la temperatura y la textura de los alimentos.

PARTE IV: FORMACIÓN Y DESARROLLO DE LOS SENTIDOS ESPECIALES (págs. 303-305)

1. Los órganos de los sentidos especiales se forman en una fase temprana del desarrollo embrionario. Las infecciones maternas durante las primeras cinco o seis semanas de embarazo pueden causar anomalías visuales así como sordera neurosensitiva en el niño en desarrollo. Un importante problema ocular congénito es el estrabismo. El problema auditivo congénito más importante es la falta del meato acústico externo.

2. La vista es el sentido especial que requiere mayor aprendizaje. El bebé posee una escasa agudeza visual (es hipermétrope) y carece de vista en color y de la percepción de profundidad al nacer. El ojo continúa creciendo y desarrollándose hasta el octavo o noveno año de vida.

3. Los problemas del envejecimiento asociados a la vista incluyen la presbiopía, el glaucoma, las cataratas y la arteriosclerosis de los vasos sanguíneos del ojo.

4. El neonato puede oír sonidos, pero las respuestas iniciales son reflexivas. En la primera infancia, el niño escucha críticamente y empieza a imitar sonidos a medida que empieza a desarrollar el lenguaje.
5. La sordera neurosensitiva (presbiacusia) es una consecuencia normal del envejecimiento.
6. El gusto y el olfato son los sentidos especiales más agudos al nacer, pero su sensibilidad disminuye a partir de los 40 años de edad debido a la reducción de la cantidad de receptores olfatorios y gustativos.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Las células gustativas son
   a. neuronas bipolares.
   b. neuronas multipolares.
   c. neuronas unipolares.
   d. células epiteliales.
2. Los alcaloides estimulan fundamentalmente los pelos gustativos de
   a. la punta de la lengua.
   b. la parte trasera de la lengua.
   c. las papilas circunvaladas.
   d. las papilas fungiformes.
3. Los nervios craneales que forman parte de la vía gustativa incluyen
   a. el trigémino. c. el hipogloso.
   b. los faciales. d. el glosofaríngeo.
4. ¿Qué nervio craneal controla la contracción del suave músculo circular del iris?
   a. El trigémino. c. El oculomotor.
   b. Los faciales. d. El abducente.
5. La córnea se nutre mediante
   a. los vasos sanguíneos corneales.
   b. el humor acuoso.
   c. el humor vítreo.
   d. los vasos sanguíneos de la esclera.
6. Al enfocar para ver de lejos
   a. la lente se vuelve lo más fina posible.
   b. los músculos ciliares se contraen.
   c. los rayos de luz son casi paralelos.
   d. las fibras suspensorias de la zónula ciliar se relajan.
7. La convergencia
   a. requiere que se contraigan los músculos del recto medial de ambos ojos.
   b. es necesaria para ver de cerca.
   c. implica la transmisión de impulsos a los largo de los nervios abducentes.
   d. puede promover la vista cansada.
8. ¿Cuáles de las siguientes parejas son *incorrectas*?
   a. Conducto coclear-cúpula.
   b. Vestíbulo-mácula.
   c. Ampolla-otolitos.
   d. Conducto semicircular-ampolla.
9. El movimiento de la membrana _____ activa la inclinación de los pelos de las células capilares en el órgano de Corti.
   a. timpánica c. basilar
   b. tectoria d. vestibular
10. Los sonidos que entran en el meato acústico externo acaban convirtiéndose en impulsos nerviosos a través de una cadena de eventos que incluyen
    a. la vibración del tambor del oído.
    b. el movimiento vibratorio de los osículos contra la ventana redonda.
    c. la estimulación de las células capilares del órgano de Corti.
    d. la resonancia de la cúpula.

Respuesta breve

11. Nombra tres estructuras oculares secundarias que ayuden a lubricar el globo ocular, y nombra también la secreción de cada una de ellas.
12. ¿Por qué nos sonamos la nariz a menudo después de llorar?
13. Esquematiza y etiqueta las estructuras oculares internas, e indica la función principal de cada estructura.
14. Nombra los músculos oculares extrínsecos que permiten dirigir los ojos.
15. Sitúa y describe las funciones de los dos humores oculares.
16. ¿Qué es la papila óptica? ¿Y por qué se denomina así?
17. ¿Cómo se llama la estructura que controla la entrada de la luz al ojo?
18. ¿Qué es la fóvea central? ¿Y por qué es importante?
19. Traza la ruta de la luz desde el momento en que ésta impacta en la córnea hasta que estimula los bulbos y conos.
20. Traza la ruta de los impulsos nerviosos desde los fotorreceptores de la retina hasta la corteza visual del cerebro.
21. Define *hipermetropía, miopía* y *emetropía.*

22. ¿Por qué la mayoría de las personas desarrollan presbiopía con la edad? ¿Cuál de las enfermedades de la pregunta 21 se le parece más?
23. Sólo hay tres tipos de conos. ¿Cómo explicarías el hecho de que podamos ver muchos más colores?
24. ¿Por qué son importantes los exámenes oftalmoscópicos?
25. A muchos estudiantes con montañas de apuntes y libros que leer se les advierte de que necesitan gafas para la vista cansada. ¿Por qué se cansan más los músculos extrínsecos e intrínsecos al mirar objetos de cerca que de lejos?
26. Nombra las estructuras del oído externo, el oído medio y el oído interno e indica la función general de cada estructura y de cada grupo de estructuras.
27. Las ondas sonoras que impactan en el tambor del oído lo ponen en movimiento. Traza la ruta de las vibraciones desde el tambor del oído hasta el órgano espiral de Corti, donde se estimulan las células capilares.
28. Indica dos causas de la sordera *conductiva*.
29. El equilibrio normal depende de la información transmitida desde varios tipos de receptores sensoriales. Nombra al menos tres de estos receptores.
30. ¿Cómo se llaman los receptores gustativos?
31. Nombra las cinco sensaciones gustativas principales.
32. ¿Dónde están ubicados los receptores olfatorios? ¿Y por qué dicha ubicación es poco conveniente para su tarea?
33. Describe los efectos o resultados del envejecimiento en los órganos de los sentidos especiales.
34. ¿Qué sentido especial requiere un mayor aprendizaje?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

35. Un estudiante de ingeniería ha estado trabajando en una discoteca para ganar dinero para pagar su educación. Tras ocho meses, se percata de que le cuesta oír los tonos de mayor alcance. ¿Cuál es la relación causa-efecto en este caso?
36. A nueve niños que asisten al mismo centro de cuidado diurno se les enrojecen e inflaman los ojos y los párpados. ¿Cuál es la causa más probable y cómo se llama esta enfermedad?
37. El Dr. Núñez utilizaba un instrumento para presionar el ojo del Sr. Cruz durante su exploración física anual en su sexagésimo cumpleaños. El ojo se deforma muy poco, lo que indica que la presión intraocular es demasiado alta. ¿Cuál es la enfermedad más probable del Sr. Cruz?
38. Leo ha sufrido una ruptura arterial en la fosa craneal media, y un charco de sangre le comprime el tracto óptico izquierdo, de modo que se destruyen los axones. ¿Qué parte del campo visual se ha quedado ciega?
39. Silvia Hernández, de 70 años de edad, ha sido operada de otosclerosis recientemente. La operación fue un fracaso y no mejoró su enfermedad. ¿Cuál es el objetivo de la cirugía y qué se pretende conseguir con ella exactamente?
40. La profesora de Juana la envía a su alumna a una clínica oculista, porque sospecha que necesita gafas. Las pruebas demuestran que Juana es miope. ¿Necesitará gafas cóncavas o convexas? Explícalo.
41. A Julia y a su padre les encanta buscar constelaciones en el cielo estrellado por las noches. Una noche, Julia llega corriendo a casa y le susurra animadamente a su madre. “Mamá, tengo poderes mágicos! ¡Cuando fuerzo la vista para mirar una estrella, desaparece!”. ¿Qué ha sucedido?
42. Durante la visita a la oficina de su padre en el piso 25 de las torres Kyo, Elsa, de 25 años, paseaba por el pasillo. Fascinada por los botones del ascensor, entraba, pulsaba 1 y el ascensor, de gran velocidad, caía en picado hasta el primer piso. Más tarde le contó a su padre que sentía como si “siguiese bajando” cuando se paraba el ascensor. Explica su sensación.
43. La Sra. Sierra sufre un trastorno inmunológico que causa boca seca, y se queja al doctor de que está perdiendo el sentido del gusto. ¿Cómo pueden explicarse sus síntomas?

CAPÍTULO 9

El sistema endocrino

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás conseguido los objetivos que se enumeran a continuación.

RESUMEN FUNCIONAL

- El sistema endocrino mantiene la homeostasis mediante la liberación de unas sustancias químicas denominadas *hormonas*, y controla procesos continuados o prolongados como el crecimiento y el desarrollo, la reproducción y el metabolismo.

NUESTROS OBJETIVOS

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas. Visión general (págs. 310-313)

- Definir *hormona* y *órgano diana*.
- Describir la forma en que las hormonas actúan sobre el organismo.
- Explicar la forma en que las diversas glándulas endocrinas se estimulan para liberar las sustancias hormonales.
- Definir *retroalimentación negativa* y describir su papel al regular los niveles de sangre de las diversas hormonas.

Los principales órganos endocrinos (págs. 313-332)

- Describir las diferencias entre glándulas endocrinas y exocrinas.
- Identificar las principales glándulas y tejidos endocrinos en un diagrama.

- Enumerar las hormonas producidas por las glándulas endocrinas y analizar sus funciones principales.
- Discutir las formas en que las hormonas favorecen la homeostasis en el organismo dando ejemplo de acciones hormonales.
- Describir la relación funcional entre el hipotálamo y la hipófisis.
- Describir las principales consecuencias patológicas de la hipersecreción y la hiposecreción de las hormonas tratadas en este capítulo.

Otros tejidos y órganos que producen hormonas (pág. 332)

- Indicar el papel endocrino de los riñones, el estómago y el intestino, el corazón y la placenta.

Formación y desarrollo del sistema endocrino (págs. 332, 335)

- Describir los cambios que se producen en el sistema endocrino y en la homeostasis del organismo al envejecer.

No necesitas ver CSI para presenciar escenas llenas de acción. Las células de tu organismo viven dinámicas aventuras a niveles microscópicos continuamente. Por ejemplo, cuando las moléculas de insulina, que se transportan en la sangre de forma pasiva, abandonan la sangre y se unen con fuerza a los receptores de proteínas de las células cercanas, la respuesta es espectacular: las moléculas de glucosa transportadas por la sangre comienzan a desaparecer en las células y la actividad celular se acelera. Tal es el poder del segundo mayor sistema de control del organismo, el **sistema endocrino.** Éste coordina y dirige la actividad de las células del cuerpo junto con el sistema nervioso. Sin embargo, la velocidad de control de estos dos grandes sistemas reguladores es diferente. El sistema nervioso está construido "para la velocidad". Utiliza los impulsos nerviosos para impulsar la acción inmediata de los músculos y las glándulas, de forma que se puedan ejecutar rápidos ajustes en respuesta a los cambios que ocurren tanto dentro como fuera del organismo. Por el contrario, el sistema endocrino, que actúa más lentamente, utiliza unos mensajeros químicos denominados *hormonas* que se liberan en la sangre para ser transportados de forma relajada por todo el organismo.

Aunque las hormonas provocan numerosos efectos, los principales procesos que controlan son la reproducción, el crecimiento y el desarrollo, la movilización de las defensas corporales frente a los estresantes, el mantenimiento del equilibrio de electrolitos, agua y nutrientes en la sangre, y la regulación del metabolismo celular y el equilibrio energético. Como puedes observar, el sistema endocrino regula procesos que abarcan periodos de tiempo relativamente largos y, en algunos casos, periodos continuos. El estudio científico de las hormonas y los órganos endocrinos se denomina **endocrinología**.

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas. Visión general

En comparación con otros órganos del organismo, los órganos del sistema endocrino son pequeños e insignificantes. De hecho, para recoger un kilogramo de tejido productor de hormonas se necesitaría recoger *todo* el tejido endocrino de 8 ó 9 adultos. Asimismo, el sistema endocrino carece de la continuidad estructural o anatómica típica de la mayoría de los sistemas orgánicos. En cambio, las partes del tejido endocrino se encuentran divididas por distintas regiones del cuerpo (véase la Figura 9.3, pág. 314). Sin embargo, atendiendo a su función, los órganos endocrinos resultan impresionantes, y si tenemos en cuenta su papel de mantenimiento de la homeostasis corporal, se trata de auténticos gigantes.

La química de las hormonas

La clave de la increíble potencia de las glándulas endocrinas reside en las hormonas que producen y segregan. Las hormonas se pueden definir como las sustancias químicas que segregan las células endocrinas en los fluidos extracelulares y regulan la actividad metabólica de otras células del organismo. Aunque se producen muy diversas hormonas, casi todas se pueden clasificar atendiendo a su química en **moléculas con base de aminoácidos** (entre las que se incluyen las proteínas, los péptidos y los aminos) o **esteroides.** Entre las hormonas esteroides (provenientes del colesterol) se incluyen las hormonas sexuales creadas por las gónadas (ovarios y testículos) y las

hormonas producidas por la corteza suprarrenal. El resto son derivados aminoácidos no esteroides. Si tenemos en cuenta también a las hormonas locales denominadas **prostaglandinas,** descritas más adelante en el capítulo (véase la Tabla 9.2, pág. 333), habremos de añadir una tercera clase de sustancia química debido a que las prostaglandinas están hechas de lípidos altamente activos que se liberan de casi todas las membranas celulares.

Mecanismos de la acción hormonal

Aunque las hormonas transportadas por la sangre circulan por casi todos los órganos del cuerpo, una determinada hormona afecta sólo a ciertas células u órganos, denominados **células** u **órganos blanco.** Para que una célula blanco responda a una hormona, unas proteínas receptoras específicas deben estar presentes en la membrana de plasma o en el interior para que *esa* hormona se pueda adherir. Sólo cuando se produce esta unión la hormona puede influir en el funcionamiento de la célula.

El término *hormona* proviene de una palabra griega que significa "despertar". De hecho, las hormonas corporales hacen precisamente eso. "Despiertan" o provocan sus efectos en las células corporales inicialmente *mediante la alteración* de la actividad celular, esto es, aumentando o disminuyendo el ritmo de un proceso metabólico normal en lugar de estimular uno nuevo. Los cambios precisos que siguen a la unión hormonal dependen de la hormona particular y el tipo de célula blanco, pero, en general, esto es lo que suele ocurrir:

1. Cambios en la permeabilidad de la membrana de plasma o en la condición eléctrica
2. Síntesis de proteínas o determinadas moléculas reguladoras (como las enzimas) en la célula
3. Activación o desactivación de enzimas
4. Estimulación de la mitosis
5. Favorecimiento de la segregación

Activación genética directa

A pesar de la enorme variedad de hormonas, existen solamente dos mecanismos mediante los cuales las hormonas provocan cambios en las células. Las hormonas esteroides (y, por raro que parezca, la hormona tiroides) utilizan el mecanismo que se muestra en la Figura 9.1a. Tratándose de moléculas solubles en lípidos, las hormonas esteroides pueden (1) difundirse por las membranas de plasma de sus células blanco. Una vez dentro, la hormona esteroide (2) se introduce en el núcleo y (3) se une a una proteína receptora específica allí. El complejo hormona-receptor (4) se une entonces a partes específicas en el DNA de la célula, lo que activa (5) determinados genes que transcriben el RNA mensajero (mRNA). Entonces, el mRNA (6) se traslada al citoplasma, lo que tiene como resultado la síntesis de nuevas proteínas.

Sistema del segundo mensajero

Las hormonas solubles en agua y no esteroides (proteínas y hormonas péptidas) no pueden entrar en las células blanco. Por el contrario, se unen a los receptores situados en la membrana de plasma de las células blanco y utilizan un **sistema de segundo mensajero.** En estos casos (Figura 9.1b), (1) la hormona se une al receptor de la membrana y (2) el receptor activado desencadena una serie de reacciones (una cascada) que activa una enzima. Por el contrario, (3) la enzima cataliza las reacciones que producen las moléculas segundo mensajero (en este caso, *AMP cíclico*, también conocido como *cAMP* o adenosín monofosfato cíclico) que (4) supervisa cambios intracelulares adicionales que promueven la respuesta típica de la célula blanco a la hormona. Como puedes adivinar, existe una gran variedad de posibles segundos mensajeros (entre los que se incluyen el *guanosín monofosfato cíclico [cGMP]* y los *iones de calcio*) y muchas posibles respuestas de las células blanco a la misma hormona, en función del tipo de tejido que se estimule.

Control de la liberación de hormonas

Ahora que hemos visto cómo funcionan las hormonas, la siguiente pregunta es: "¿qué hace que las glándulas endocrinas liberen o no sus hormonas?" Veamos.

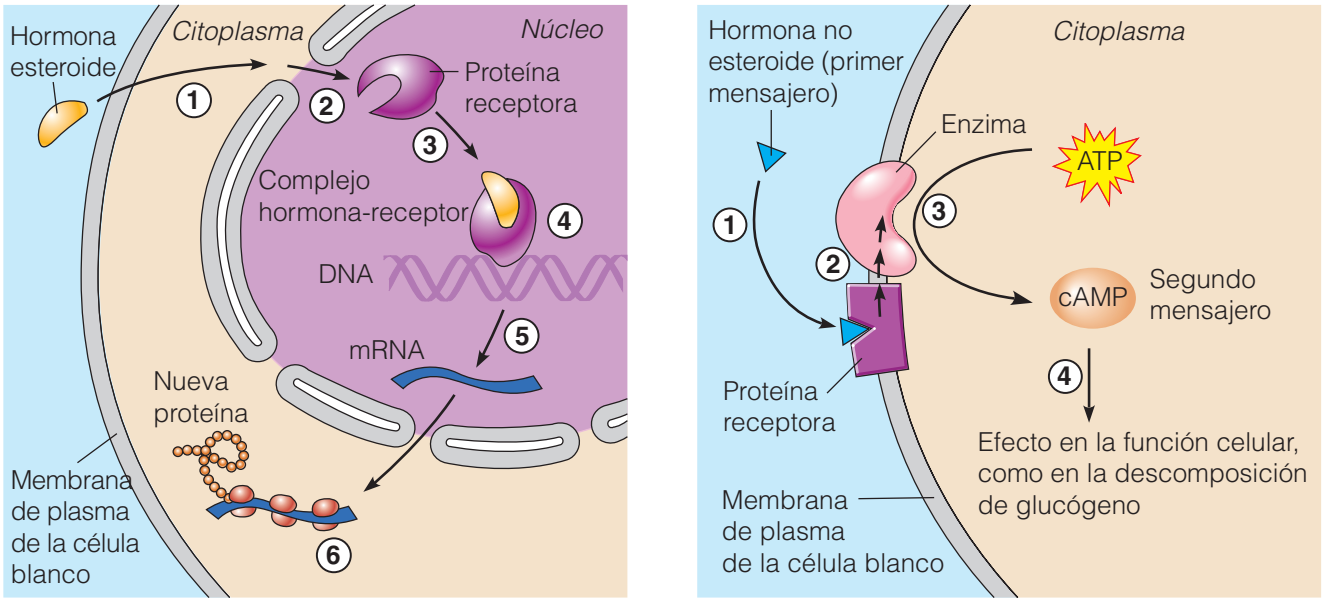
Los **mecanismos de retroalimentación negativa** constituyen el principal medio para regular los niveles en sangre de casi todas las hormonas (véase el Capítulo 1, pág. 13). En dichos sistemas, la secreción de hormonas se produce gracias a algunos estímulos internos o externos; por tanto, la elevación de los niveles hormonales inhibe la liberación de más hormonas (incluso mientras se promueven respuestas en sus órganos blanco). Como resultado, los niveles en sangre de muchas hormonas varían sólo dentro de un rango muy estrecho.

Estímulos de la glándula endocrina

Los estímulos que activan los órganos endocrinos se dividen en tres categorías principales: hormonal, humoral y nerviosa (Figura 9.2).

Estímulos hormonales Los estímulos más comunes son los *estímulos hormonales*, en los que otras hormonas impulsan a los órganos endocrinos a actuar. Por ejemplo, las hormonas hipotalámicas estimulan a la hipófisis anterior para que segregue sus hormonas, y muchas

¿Qué determina si una hormona influye en una célula del organismo determinada?



(a) Acción de la hormona esteroide **(b) Acción de la hormona no esteroide**

FIGURA 9.1 Mecanismos de la acción hormonal. (a) Activación directa de genes: el mecanismo de hormonas esteroides. **(b)** Sistema del segundo mensajero: el mecanismo de hormonas no esteroides (base de aminoácidos).

hormonas hipofisarias anteriores estimulan otros órganos endocrinos para que liberen sus hormonas a la sangre (Figura 9.2a). A medida que las hormonas producidas por las glándulas blanco aumentan en la sangre, se "retroalimentan" para impedir la liberación de hormonas hipofisarias anteriores y, por tanto, su propia liberación. La liberación de hormonas promovida por este mecanismo tiende a ser rítmica, con niveles de hormonas en sangre que aumentan y disminuyen una y otra vez.

Estímulos humorales La modificación de los niveles en sangre de determinados iones y nutrientes también puede estimular la liberación de hormonas. Estos estímulos se denominan *estímulos humorales* para distinguirlos de los estímulos hormonales, que son también las sustancias químicas transportadas en la sangre. El término *humoral* hace referencia al antiguo uso de la palabra *humor* para indicar los diversos fluidos corporales (sangre, bilis y otros). Por ejemplo, la liberación de la hormona paratiroidea (PTH) por parte de las células de las glándulas paratiroidas se ve favorecida por la disminución de los niveles de calcio en la sangre. Debido a que la PTH actúa de diversas formas para revertir dicha reducción, los niveles de Ca^{2+} en sangre aumentan rápidamente, lo que hace finalizar el estímulo de liberación de PTH (Figura 9.2b). Entre otras hormonas que se liberan como respuesta a los estímulos humorales encontramos: la calcitonina, liberada por la glándula tiroidea, y la insulina, producida por el páncreas.

Estímulos nerviosos En casos aislados, las fibras nerviosas estimulan la liberación de hormonas y se dice que las células blanco responden a los *estímulos nerviosos*. Un ejemplo clásico es la estimulación del sistema nervioso simpático de la médula suprarrenal para liberar noradrenalina y adrenalina durante los periodos de estrés (Figura 9.2c). Aunque estos mecanismos tipifican la mayoría de los sistemas que controlan la liberación de hormonas, no los explican todos en absoluto, y algunos órganos endocrinos responden a estímulos muy diferentes.

Una hormona puede influir en una célula del organismo solo si dicha célula tiene receptores para esa hormona en su membrana de plasma o de forma interna.

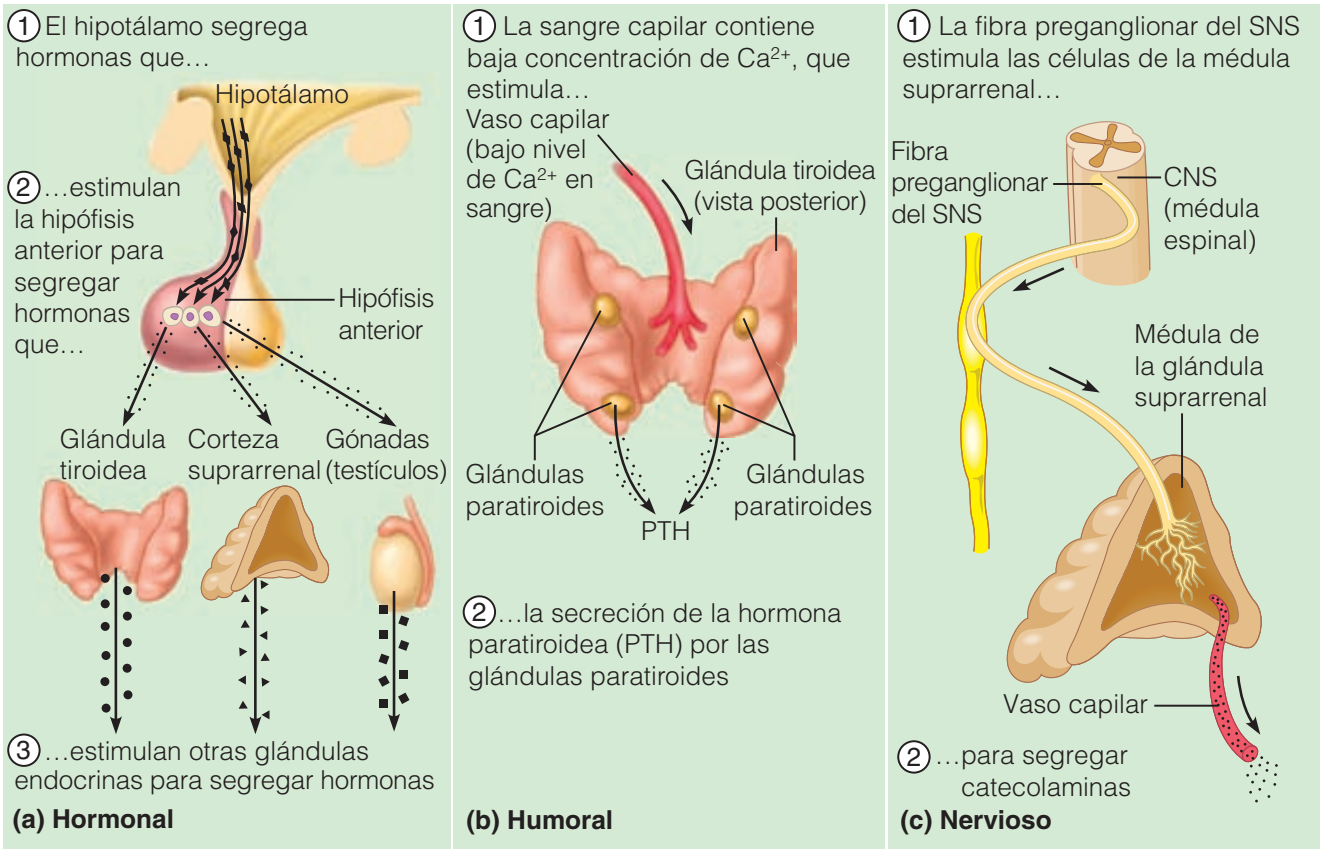


FIGURA 9.2 Estímulos de la glándula endocrina. (a) Estímulos hormonales. En este ejemplo, las hormonas liberadas por el hipotálamo estimulan la hipófisis anterior para liberar hormonas que estimulan otros órganos endocrinos para segregar hormonas. **(b)** Estímulo humoral. Los bajos niveles de calcio en sangre provocan la liberación de la hormona paratiroidea (PTH) desde las glándulas paratiroides. La PTH hace que los niveles de calcio en sangre aumenten mediante la estimulación de la liberación de Ca^{2+} desde el hueso. Por consiguiente, el estímulo para la segregación de PTH finaliza. **(c)** Estímulo nervioso. La estimulación de las células medulares adrenales por parte de las fibras del sistema nervioso simpático (SNS) desencadena la liberación de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) a la sangre.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. Andando descalzo, pisas un trozo de cristal e inmediatamente retiras el pie. ¿Por qué es importante que la señal que provoca este movimiento provenga del sistema nervioso y no del endocrino?
2. ¿Qué es una *hormona*? ¿Qué significa un *órgano diana*?
3. ¿Por qué se le denomina segundo mensajero al cAMP?
4. ¿Cuáles son las tres formas en que las glándulas endocrinas se estimulan para segregar las hormonas?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Los principales órganos endocrinos

Entre los órganos endocrinos principales del organismo se encuentran: la **hipófisis,** la **tiroides,** las **glándulas paratiroides, suprarrenal**, **pineal,** y **timo,** el **páncreas** y las gónadas (**ovarios** y **testículos**) (Figura 9.3). El **hipotálamo,** que forma parte del sistema nervioso, también se reconoce como un órgano endocrino principal porque produce varias hormonas. Aunque la función de algunas glándulas que producen hormonas (la hipófisis anterior, la tiroides, los adrenales y la paratiroides) es puramente endocrina, la función de otros (páncreas y gónadas) es

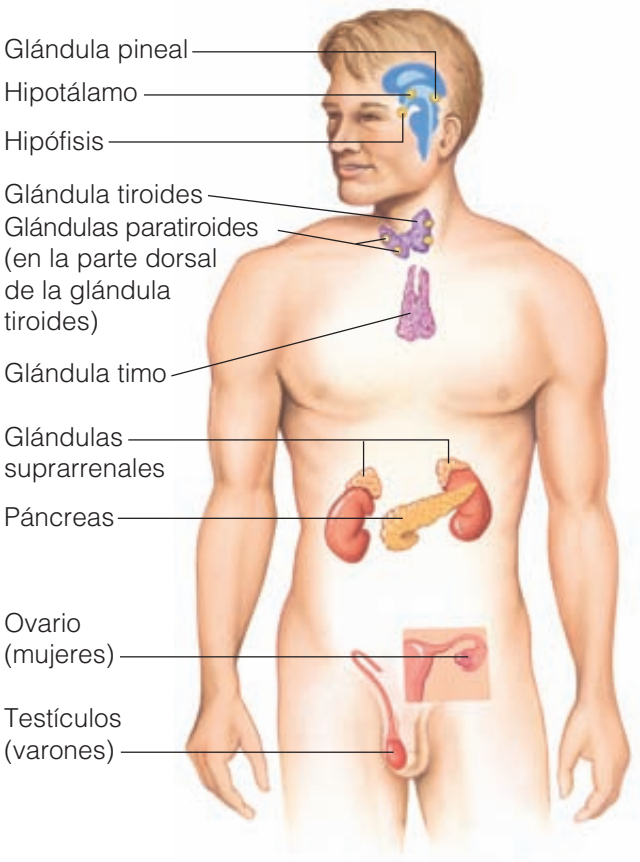


FIGURA 9.3 Ubicación de los principales órganos endocrinos del organismo. (Las glándulas paratiroides que aparecen en la superficie anterior de la glándula tiroides en esta imagen, se encuentran realmente ubicadas en la parte posterior en muchos casos).

mixta: endocrina y exocrina. Los dos tipos de glándulas se forman con tejido epitelial, pero las endocrinas son glándulas que **carecen de conductos** que producen hormonas que liberan a la sangre o la linfa. (Como cabe esperar, las glándulas endocrinas tienen un suministro de sangre muy rico). Por el contrario, las glándulas exocrinas liberan sus productos a la superficie corporal o a las cavidades corporales a través de conductos. Ya hemos tratado la formación y las similitudes y diferencias entre estos dos tipos de glándulas en el Capítulo 3. Aquí nos centraremos sólo en las glándulas endocrinas.

Además de las descripciones más detalladas de los órganos endocrinos que se verán a continuación, aparece un resumen de las principales funciones de sus hormonas y sus factores reguladores en la Tabla 9.1 (págs. 330–331).

La hipófisis

La **hipófisis** tiene aproximadamente el tamaño de un guisante. Cuelga de un tallo desde la superficie interior del hipotálamo del cerebro, donde está cómodamente rodeada por "la silla turca" del hueso esfenoide. Tiene dos lóbulos funcionales: la hipófisis anterior (tejido glandular) y la hipófisis posterior (tejido nervioso).

Las hormonas hipofisarias anteriores

Como se muestra en la Figura 9.4, existen distintas hormonas hipofisarias anteriores que afectan a muchos órganos corporales. Dos de las seis hormonas hipofisarias anteriores (la hormona del crecimiento y la prolactina) ejercen sus principales efectos en objetivos no endocrinos. Las cuatro restantes: la hormona tirotrópica, la hormona adenocorticotrópica y las dos hormonas gonadotrópicas son todas **hormonas trópicas**. Las hormonas trópicas estimulan a sus órganos blanco, que también son glándulas endocrinas, para que segreguen sus hormonas, las cuales, en cambio, ejercen sus efectos en otros órganos corporales y tejidos. Todas las hormonas hipofisarias anteriores (1) son proteínas (o péptidos), (2) actúan mediante sistemas de segundo mensajero y (3) están reguladas por estímulos hormonales y, en la mayoría de los casos, por retroalimentación negativa.

La **hormona del crecimiento (GH)** es una hormona metabólica general. Sin embargo, sus principales efectos están dirigidos al crecimiento de los músculos esqueléticos y los huesos largos del organismo y, por tanto, desempeña un papel importante a la hora de determinar el tamaño corporal final. La GH es una hormona anabólica y que ahorra proteínas que hace que los aminoácidos se construyan en las proteínas y estimula la mayor parte de las células blanco para que crezcan en tamaño y se dividan. Al mismo tiempo, permite que las grasas se descompongan y se utilicen para producir energía mientras ahorra glucosa, lo que ayuda a mantener la homeostasis del azúcar en sangre.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si no se tratan, tanto los déficit como los excesos de GH pueden dar como resultado anomalías estructurales. La hiposecreción de la hormona durante la infancia causa **enanismo pituitario** (Figura 9.5). Las proporciones corporales son bastante normales, pero la persona con este problema es en su conjunto una miniatura viviente (con una altura máxima de 1,22 m). La hipersecreción durante la infancia da como resultado el **gigantismo.** El individuo se vuelve extremadamente alto (de 2,40 a 2,70 m). De nuevo, las proporciones corporales son normales en general. Si la hipersecreción se produce después de que el crecimiento de los huesos largos haya terminado, se pro-

P *¿Qué efecto tendrían niveles elevados de la hormona tiroidea en la sangre respecto a la secreción de TSH?*

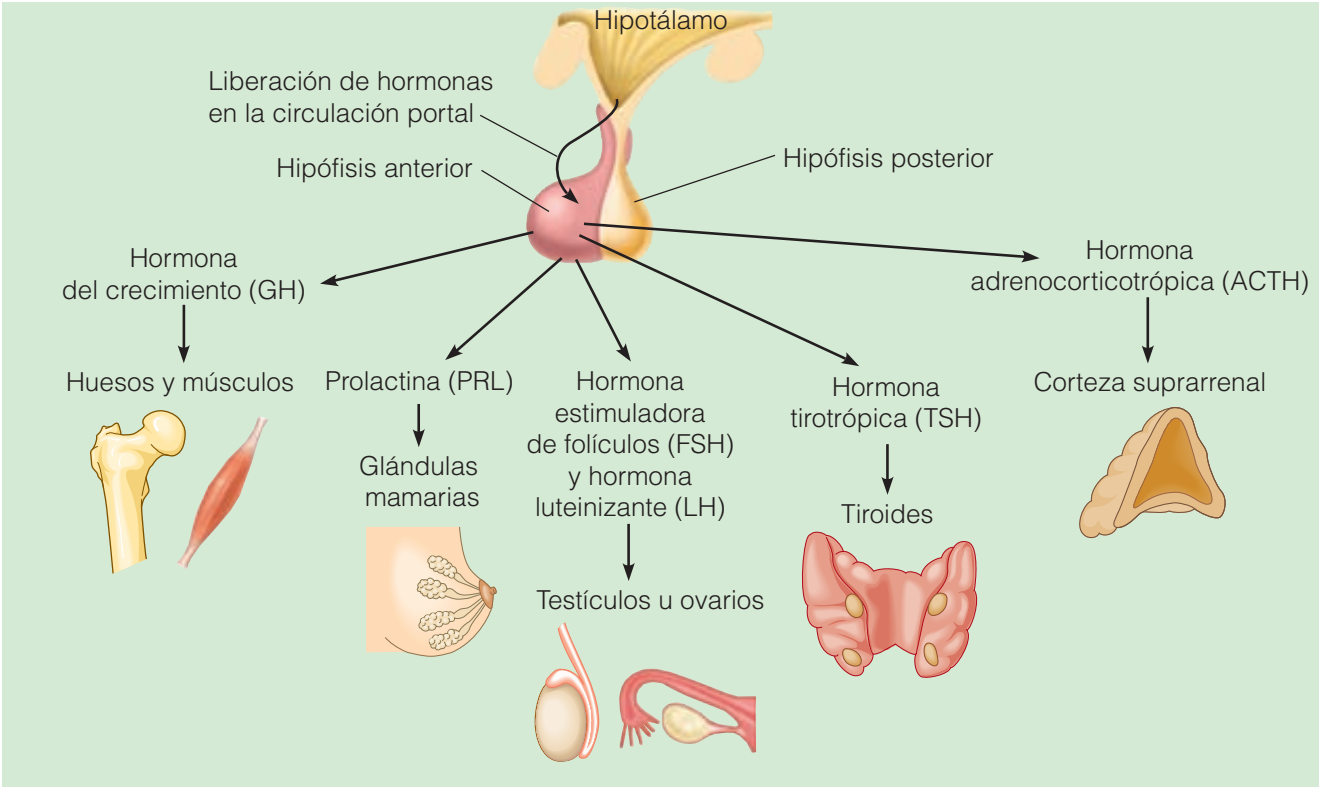


FIGURA 9.4 Hormonas hipofisarias anteriores y sus principales órganos blanco. La secretación de las hormonas hipofisarias anteriores se estimula mediante la liberación de hormonas secretadas por las neuronas hipotalámicas. Las hormonas liberadas se secretan en una red de vasos capilares que se conecta a través de las venas portales a un segundo lecho capilar en el lóbulo anterior de la hipófisis.

duce la **acromegalia.** Los huesos de la cara, especialmente la mandíbula inferior y los salientes huesudos de las cejas, crecen de manera espectacular, así como los pies y las manos. El espesamiento de los tejidos blandos da como resultado malformaciones faciales. La mayoría de los casos de hipersecreción de los órganos endocrinos (la hipófisis y los otros órganos endocrinos) son el resultado de tumores en la glándula afectada. Las células tumorales se comportan de una forma similar a las células glandulares normales, esto es, producen las hormonas que normalmente crea esa glándula. El uso de dosis farmacológicas de GH para revertir algunos de los efectos del envejecimiento se resalta en el cuadro "Más de cerca" en las págs. 317-318. ▲

La **prolactina (PRL)** es una hormona proteica de características similares a la hormona del crecimiento. Su único blanco conocido en seres humanos es el pecho (*pro* = para; *lact* = leche). Tras el nacimiento del niño, estimula y mantiene la producción de leche del pecho de la madre. No se le conoce una función en los varones.

La **hormona adrenocorticotrópica (ACTH)** regula la actividad endocrina de la corteza de la glándula suprarrenal. La **hormona que estimula la tiroides (TSH),** también llamada **hormona tirotrópica (TH),** influye en el crecimiento y la actividad de la glándula tiroidea.

R *Impediría que la hipófisis anterior secretara TSH.*

(a)

(b)

FIGURA 9.5 Trastornos de la hormona del crecimiento pituitaria. (a) La superproducción prolongada de la hormona del crecimiento humano durante el desarrollo, que a menudo se debe a un tumor benigno dentro de la hipófisis, provoca gigantismo, mientras que la producción normal de GH durante la infancia da como resultado una altura normal en adultos. **(b)** La infraproducción de GH durante el desarrollo provoca enanismo.

Las **hormonas gonadotrópicas** regulan la actividad hormonal de las **gónadas** (ovarios y testículos). En las mujeres, la **hormona que estimula los folículos** de gonadotropina **(FSH)** estimula el desarrollo de folículos en los ovarios. A medida que maduran los folículos, producen estrógenos y los huevos se preparan para la ovulación. En los varones, la FSH estimula el desarrollo de esperma por parte de los testículos. La **hormona luteinizadora (LH)** desencadena la ovulación de un huevo desde el ovario y provoca que el folículo roto produzca progesterona y algunos estrógenos. En los varones, la LH estimula la producción de testosterona por parte de las células intersticiales de los testículos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La hiposecreción de FSH o LH produce esterilidad, tanto en los varones como en las mujeres. En general, la hipersecreción no parece provocar ningún problema. Sin embargo, algunos fármacos utilizados para promover la fertilidad estimulan la liberación de las hormonas gonadotrópicas, y los embarazos múltiples (lo que indica ovulaciones múltiples al mismo tiempo en lugar de la ovulación única común de cada mes) resultan bastante comunes tras su uso. ▲

Relación entre la hipófisis y el hipotálamo

A pesar de su tamaño insignificante, la hipófisis anterior controla la actividad de tantas otras glándulas endocrinas que a menudo se le denomina la "glándula endocrina maestra". La extirpación o destrucción de dicha glándula tiene un efecto dramático sobre el organismo. Las glándulas suprarrenal y tiroides, y las gónadas se atrofian, y pronto son visibles los resultados de la hiposecreción de dichas glándulas. Sin embargo, la hipófisis anterior no es tan poderosa en el control de estas glándulas como podría parecer, dado que la liberación de cada una de sus hormonas está controlada por **hormonas liberadoras** e inhibidoras producidas por el hipotálamo.

El hipotálamo libera estas hormonas reguladoras a la sangre de la circulación portal, la cual conecta el suministro de sangre del hipotálamo con el de la hipófisis anterior. (En una *circulación portal* dos lechos capilares están conectados por la vena. En este caso, los vasos capilares del hipotálamo están drenados por las venas que se vacían en los vasos capilares de la hipófisis anterior).

MÁS DE CERCA

USOS POTENCIALES DE LA HORMONA DEL CRECIMIENTO

La hormona del crecimiento se ha estado utilizando para propósitos farmacéuticos (es decir, como fármaco) desde que se descubrió en la década de 1950. Inicialmente se obtenía de la hipófisis de los cadáveres y ahora se biosintetiza y administra mediante inyecciones. Aunque el uso de la GH está ampliamente extendido en las pruebas clínicas, su utilización como un fármaco prescriptivo está restringida hasta que se puedan documentar los efectos beneficiosos y dañinos derivados de ella (muchos de los cuales son intrigantes).

La GH se administra de forma legal a niños que no la producen de forma natural para permitir que estos niños crezcan hasta alturas cercanas a lo normal. Lamentablemente, algunos médicos sucumben a la presión de los padres para prescribir la GH a los niños que *sí* la producen, pero que son bajitos.

Cuando se administra a *adultos* con una deficiencia de la hormona de crecimiento, la grasa corporal disminuye y la masa corporal, la densidad ósea y la masa muscular aumentan. Asimismo, parecen aumentar el rendimiento y la masa muscular del corazón, disminuye el colesterol de la sangre, mejora el sistema inmune e incluso la perspectiva psicológica del que la consume. Tales efectos (especialmente los que comprenden un aumento de la masa muscular y una disminución de la grasa corporal) han llevado a los culturistas y atletas a abusar de la GH, motivo por el cual el consumo de esta sustancia sigue estando restringido.

Debido a que la GH puede revertir algunos efectos del envejecimiento, han proliferado las clínicas de antienvejecimiento que utilizan inyecciones de GH para retrasar este proceso. Normalmente la gente deja de producir la hormona a partir de los 60 años, y esto podría explicar por qué la proporción de masa magra-gorda se reduce y la piel se hace más fina. La GH ya es el tratamiento elegido por muchas de las estrellas de Hollywood que temen la pérdida de su juventud y vitalidad. La administración de GH a los pacientes más mayores revierte estas disminuciones. No obstante, hay estudios clínicos que revelan que la GH administrada no aumenta la fuerza ni la tolerancia al ejercicio en pacientes mayores, y un estudio cuidadoso de pacientes muy enfermos en la UCI (donde a menudo se administra GH para restaurar el equilibrio de nitrógeno) descubrió que las altas dosis de GH están relacionadas con un aumento de la mortalidad. Por este motivo, los medios que afirman que la GH es una "pócima de la juventud" han resultado ser peligrosamente engañosos, y no debería administrarse GH a las personas de avanzada edad o a los enfermos críticos.

> *"Los medios que afirman que la GH es una 'pócima de la juventud' han resultado ser peligrosamente engañosos."*

La GH puede ayudar a los pacientes enfermos de sida. Gracias a la mejora de los antibióticos, cada vez menos pacientes con sida mueren de infecciones. La otra cara de la moneda es que cada vez más enfermos fallecen a causa de la pérdida de peso. Se ha comprobado que las inyecciones de GH pueden revertir de forma eficaz la pérdida de peso durante el sida, lo que lleva a un aumento del músculo magro y del peso. En 1996, la *U.S. Food and Drug Administration* aprobó la utilización de GH para tratar la pérdida de peso.

¿Puede ayudar la hormona del crecimiento a los pacientes más mayores?

MÁS DE CERCA Usos potenciales de la hormona del crecimiento *(continuación)*

La GH no es una sustancia milagrosa, incluso en los casos en los que resulta claramente beneficiosa. El tratamiento con GH resulta caro y tiene efectos secundarios no deseados. Puede provocar retención de líquidos y un edema, dolores en las articulaciones y en los músculos, un nivel alto de azúcar en sangre, intolerancia a la glucosa y ginecomastia (crecimiento de los pechos en los hombres). Hipertensión, crecimiento del corazón, diabetes y cáncer de colon son otros posibles resultados de altas dosis de GH, y los edemas y dolores de cabeza acompañan incluso a las dosis menores. Sin embargo, las dosis cuidadosamente preparadas pueden evitar la mayor parte de los efectos secundarios.

Se está realizando una investigación intensa acerca de los beneficios potenciales de la GH, y esta hormona dará que hablar en los años venideros. Esperemos que su extendido uso no se convierta en un problema para la salud pública.

El hipotálamo produce también dos hormonas adicionales, la oxitocina y la hormona antidiurética, que se transportan por los axones de las **células neurosecretoras** del hipotálamo a la hipófisis posterior para almacenarse (Figura 9.6). Más adelante se liberan en la sangre como respuesta a los impulsos nerviosos del hipotálamo para almacenarse.

Las hormonas hipofisarias posteriores

La hipófisis posterior no es una glándula endocrina en el sentido estricto porque *no genera* las hormonas péptidas que libera. Por el contrario, como hemos mencionado con anterioridad, simplemente actúa como zona de almacenamiento para las hormonas creadas por las neuronas hipotalámicas.

La **oxitocina** se libera en cantidades importantes sólo durante el nacimiento y en las mujeres que acaban de dar a luz. Estimula las poderosas contracciones del músculo uterino durante el parto, durante las relaciones sexuales y durante el amamantamiento. Asimismo, provoca la expulsión de la leche en las mujeres que amamantan. Tanto las sustancias oxitócicas naturales como las sintéticas (pitocina y otras) se utilizan para inducir el parto o acelerarlo en los casos en los que el ritmo es lento. De forma menos frecuente se utilizan para detener el sangrado posparto (al provocar la constricción de los vasos sanguíneos rotos en la placenta) y para estimular el reflejo de expulsión de leche.

La segunda hormona liberada por la pituitaria posterior es la **hormona antidiurética (ADH).** La *diuresis* es la producción de orina. Por tanto, un antidiurético es una sustancia química que impide o previene la producción de orina. La ADH hace que los riñones reabsorban más agua de la orina formada; como resultado de ello, el volumen de orina disminuye y el de sangre aumenta. En grandes cantidades, la ADH también incrementa la presión sanguínea al provocar la constricción de las arteriolas (pequeñas

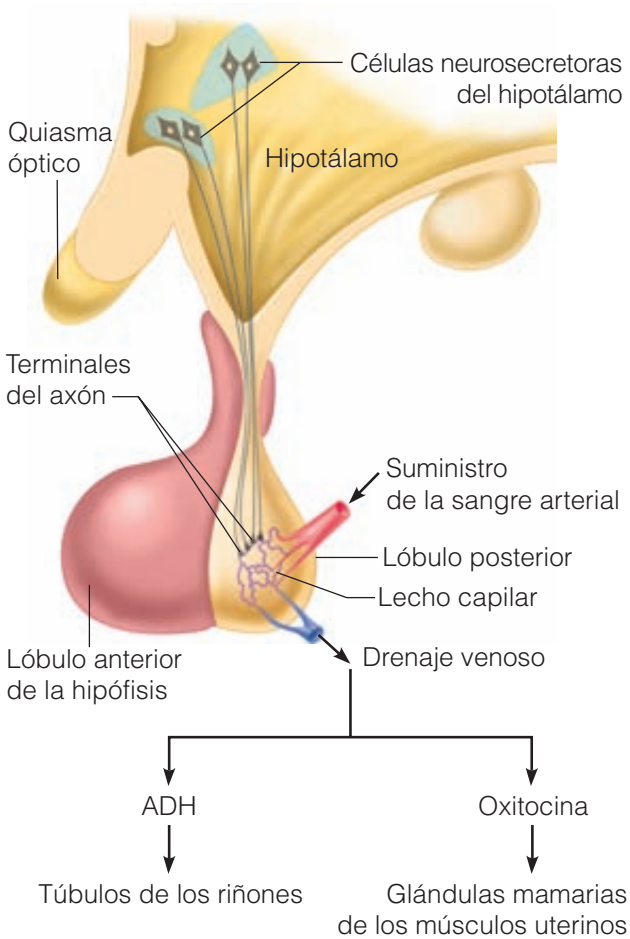


FIGURA 9.6 Hormonas liberadas por el lóbulo posterior de la hipófisis y de los órganos diana de dichas hormonas. Las células neurosecretoras del hipotálamo sintetizan la oxitocina y la hormona antidiurética (ADH) y la transportan por sus axones hasta la hipófisis posterior. Allí, las hormonas se almacenan hasta que se desencadena su liberación mediante impulsos nerviosos del hipotálamo.

arterias). Por este motivo, a veces se las denomina **vasopresinas**.

El consumo de bebidas alcohólicas impide la secreción de ADH y da como resultado la producción de gran cantidad de orina. La boca seca y la sed intensa que se experimenta a la mañana siguiente reflejan el efecto deshidratante del alcohol. Algunas sustancias clasificadas como *diuréticos* antagonizan los efectos de la ADH, provocando que el agua se expulse del organismo. Estas sustancias se utilizan para tratar el edema (retención de agua en los tejidos) típico de un fallo congestivo del corazón.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La hiposecreción de ADH conduce a una enfermedad consistente en un exceso de producción de orina denominada **diabetes insípida.** Las personas que presentan este problema siempre tienen sed y beben grandes cantidades de agua. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

5. Tanto la hipófisis anterior como la posterior liberan hormonas, pero la posterior no es una glándula endocrina. ¿De qué se trata?
6. Cita dos diferencias importantes entre las glándulas endocrinas y exocrinas.
7. ¿Qué son las hormonas trópicas?
8. Juan elimina grandes cantidades de orina. Tiene un problema del sistema endocrino, pero no es diabetes *mellitus*, que es similar. ¿Cuál es su posible problema?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

La glándula tiroides

La **glándula tiroides** es una glándula que produce hormonas que resultan familiares a muchas personas, ya que muchos obesos culpan de su sobrepeso a sus "glándulas" (queriéndose referir a la tiroides). En verdad, el efecto de la tiroides en el peso corporal no es tan importante como muchos se piensan.

La glándula tiroides está situada en la base de la garganta, justo debajo de la nuez, donde se puede palpar fácilmente durante un examen físico. Es una glándula bastante grande compuesta de dos lóbulos unidos por una masa central o *istmo* (Figura 9.7). La glándula tiroides produce dos hormonas, una llamada *hormona tiroidea* y la otra *calcitocina*. Internamente, la glándula tiroides está compuesta de estructuras huecas denominadas **folículos,** que almacenan un material coloidal pegajoso (Figura 9.7 b) La hormona tiroidea se origina a partir de este material.

La **hormona tiroidea,** a menudo conocida como la hormona metabólica principal del organismo, son realmente dos hormonas activas que contienen yodina: **tiroxina**, o **T_4,** y **triyodotironina**, o **T_3.** La tiroxina es la hormona principal segregada por los folículos tiroideos. La mayor parte de la triyodotironina se forma en los tejidos blanco mediante la conversión de la tiroxina en triyodotironina. Estas dos hormonas son muy parecidas. Cada una se construye a partir de dos aminoácidos de tirosina unidos, pero la tiroxina tiene cuatro átomos de yodina unidos, mientras que la triyodotironina tiene tres (por tanto, T_4 y T_3, respectivamente). La hormona tiroidea controla el ritmo al que "se quema" o se oxida la glucosa y se convierte en calor corporal y energía química. Dado que todas las células corporales dependen de un suministro continuo de energía química para realizar sus actividades, cada célula corporal es un objetivo. Asimismo, la hormona tiroidea resulta importante para un crecimiento y desarrollo normales del tejido, especialmente en los sistemas reproductivo y nervioso.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Sin yodina no se pueden crear las hormonas funcionales. La fuente de yodina es nuestra dieta, y la comida rica en yodina son los alimentos del mar. Hace muchos años, los habitantes del Medio Oeste de Estados Unidos, una zona con tierra carente de yodina y alejada de la costa (y del suministro de pescado fresco), desarrollaban **bocios.** Esa región del país acabó llamándose el "cinturón del bocio". El bocio es una ampliación de la glándula tiroides (Figura 9.8) que se produce cuando la alimentación es pobre en yodina. La TSH continúa requiriendo tiroxina y la glándula tiroides crece, pero sin yodina la tiroides crea sólo la parte péptida de la molécula, que no es funcional y, por tanto, no proporciona retroalimentación negativa para impedir la liberación de TSH. El bocio ya no es común en Estados Unidos hoy día porque la mayor parte de la sal es yodada, pero esto sigue siendo un problema en otras partes del mundo.

La hiposecreción de tiroxina puede indicar problemas distintos a la deficiencia de yodina, tales como la falta de estimulación por parte de la TSH. Si esto ocurre en la temprana infancia, el resultado es el **cretinismo.** El cretinismo da como resultado el enanismo en el que las proporciones corporales de los adultos tienen el aspecto de las de un niño. Juntos la cabeza y el tronco miden aproximadamente una vez y media la longitud de la pierna en lugar de tener aproximadamente la misma longitud, como en los adultos normales. Las personas con cretinismo que no se someten a tratamiento son retrasados mentales. Su pelo es escaso y su piel seca. Si se descubre pronto, la sustitución de la hormona evitará el retraso mental y otros signos y síntomas de

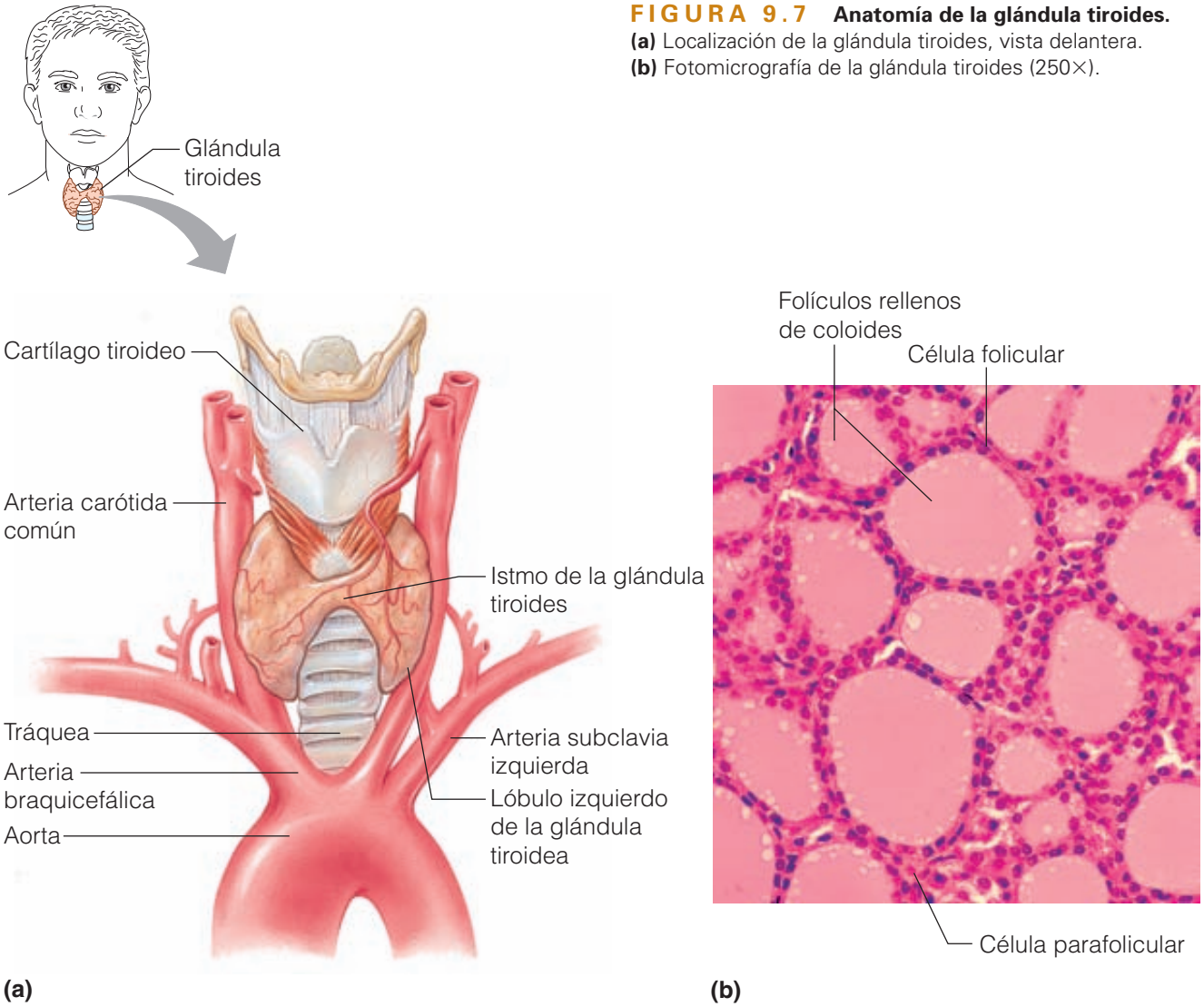


FIGURA 9.7 Anatomía de la glándula tiroides.
(a) Localización de la glándula tiroides, vista delantera.
(b) Fotomicrografía de la glándula tiroides (250×).

deficiencia. El hipotiroidismo que se da en los adultos tiene como resultado el **mixedema,** que se caracteriza por flojera mental y física (aunque no se produce retraso mental). Otros síntomas son la hinchazón de la cara, fatiga, bajo tono muscular, baja temperatura corporal (la persona siempre está fría), obesidad y piel seca. Para tratar esta enfermedad se prescribe tiroxina oral.

El hipertiroidismo normalmente es el resultado de un tumor que se encuentra en la glándula tiroides. La superproducción extrema de tiroxina da como resultado un alto ritmo metabólico basal, intolerancia al calor, pulso rápido, pérdida de peso, comportamiento nervioso y agitado, y una incapacidad general para relajarse. La **enfermedad de Graves** es una forma de hipertiroidismo. Además de los síntomas que hemos mencionado con anterioridad, la glándula tiroides se agranda y los ojos pueden llegar a sobresalir por la parte anterior (una enfermedad llamada **exoftalmos** (Figura 9.9). El hipertiroidismo puede tratarse quirúrgicamente mediante la extirpación de parte de la tiroides (y un tumor si lo hay) o mediante tratamiento químico administrando sustancias que bloquean la tiroides o yodina radioactiva, que destruyen algunas de las células tiroideas. ▲

El segundo producto hormonal importante de la glándula tiroides, la **calcitolina,** disminuye los niveles de calcio en sangre haciendo que el calcio se deposite en los huesos. Actúa de forma antagónica a la hormona paratiroidea, la hormona producida por las glándulas paratiroides. Mientras que la tiroxina se crea y almacena en folículos antes de liberarse en la sangre, la calcitonina es producida por las llamadas **células parafoliculares,** que se encuentran en el tejido conectivo *entre* los folículos (Figura 9.7b). Se libera directamente a la sangre como respuesta al aumento del nivel de calcio en san-

FIGURA 9.8 **Bocio.** Una tiroides agrandada (bocio) de Bangladesh.

FIGURA 9.9 **El exoftalmos de la enfermedad de Graves.**

gre. Se conocen pocos efectos de la hipoosecreción o hipersecreción de calcitonina, y la producción de esta sustancia es exigua o cesa totalmente en los adultos. Esto puede ayudar a explicar (al menos en parte) la descalcificación progresiva de los huesos que acompaña al envejecimiento.

Glándulas paratiroides

Las **glándulas paratiroides** son pequeñas masas de tejido glandular que se encuentran a menudo en la superficie posterior de la glándula tiroides (véase la Figura 9.3). Normalmente existen dos glándulas paratiroides en cada lóbulo tiroideo, esto es, un total de cuatro paratiroides. No obstante, se conocen hasta ocho y es posible que haya otras en otras regiones del cuello e incluso el tórax. Las paratiroides segregan **hormona paratiroidea (PTH)** o **parathormona,** que es el más importante regulador de la homeostasis de iones de calcio (CA^{2+}) de la sangre. Cuando los niveles de calcio en sangre caen por debajo de un nivel determinado, las paratiroides liberan PTH que estimula las células de destrucción de huesos (osteoclastas) para descomponer la matriz ósea y liberar calcio a la sangre. Por tanto, PTH es una hormona *hipercalcémica* (esto es, actúa para aumentar los niveles de calcio en sangre), mientras que la calcitonina es *hipocalcémica*. La interacción de la retroalimentación negativa entre estas dos hormonas cuando controlan el nivel de calcio en sangre se ilustra en la Figura 9.10. Aunque el esqueleto es el mayor blanco de la PTH, también estimula los riñones y el intestino para absorber más calcio (del filtrado urinario y los alimentos).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si los niveles de calcio caen mucho, las neuronas se vuelven extremadamente irritables y muy activas. Emiten impulsos a los músculos a un nivel tan rápido que los músculos padecen espasmos incontrolables **(tétanos),** lo que puede resultar fatal. Antes de que los cirujanos conocieran la importancia de las pequeñas glándulas paratiroides de la parte posterior de la tiroides, solían extraer toda la glándula de los pacientes con hipertiroidismo. En muchos casos se producía la muerte de estos pacientes. Una vez que se descubrió que las paratiroides son funcionalmente muy diferentes de la glándula tiroides, los cirujanos comenzaron a dejar al menos algunos tejidos de la paratiroides (si era posible) para que se ocuparan de la homeostasis del calcio en la sangre.

El hiperparatiroidismo grave provoca una destrucción masiva de los huesos; un examen de rayos X de los huesos muestra unos grandes agujeros perforados en la matriz ósea. Los huesos se vuelven muy frágiles y comienzan a surgir fracturas espontáneas. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

9. ¿Cómo están unidas de forma anatómica la tiroides y las glándulas paratiroides?
10. ¿Qué hormona aumenta los niveles de calcio en sangre y qué glándula endocrina la produce?
11. ¿Qué hormona reduce los niveles de calcio en sangre y qué glándula endocrina la produce?
12. ¿Por qué resulta importante la yodina para el funcionamiento correcto de la glándula tiroides?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

P *¿Qué efecto tendría la extracción de las glándulas paratiroides en los niveles de calcio en sangre?*

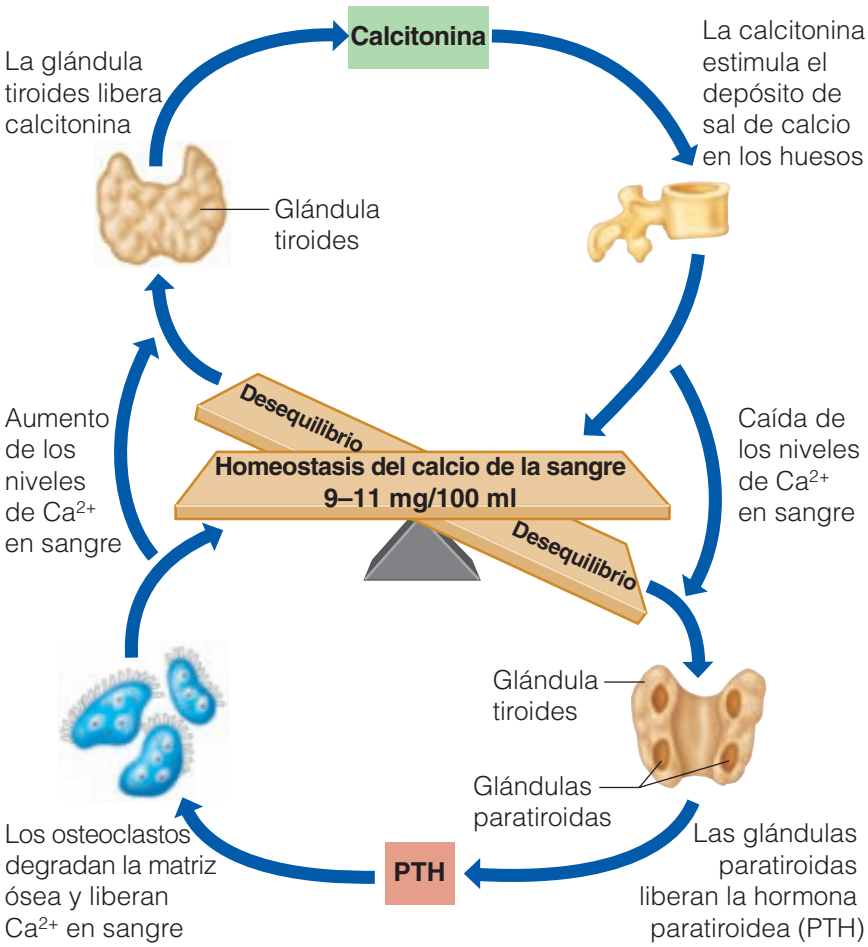


FIGURA 9.10 Controles hormonales de los niveles de calcio iónico en la sangre. La PTH y la calcitonina toman parte en los sistemas de control de retroalimentación negativa que se influyen entre sí.

Las glándulas adrenales

Como se muestra en la Figura 9.3, las dos **glándulas adrenales** con forma de guisante se doblan sobre la parte superior de los riñones. Aunque la glándula suprarrenal parece un solo órgano, en realidad se trata de dos órganos endocrinos, tanto por su estructura como por su funcionalidad. Al igual que la hipófisis, tiene partes glandulares (corteza) y tejido nervioso (médula). La región de la médula central está encerrada por la corteza suprarrenal, que contiene tres capas separadas de células (Figura 9.11).

R *Los niveles de calcio en sangre se reducirían debido a que los huesos ya no estarían expuestos al estímulo de asimilación de huesos de PTH.*

Las hormonas de la corteza suprarrenal

La **corteza suprarrenal** produce tres grupos principales de hormonas esteroides, denominadas de forma colectiva **corticosteroides:** mineralocorticoides, glucocorticoides y hormonas sexuales.

La capa celular de la corteza suprarrenal más exterior produce los **mineralocorticoides,** en especial la **aldosterona.** Como sugiere su nombre, los mineralocorticoides resultan importantes a la hora de regular el

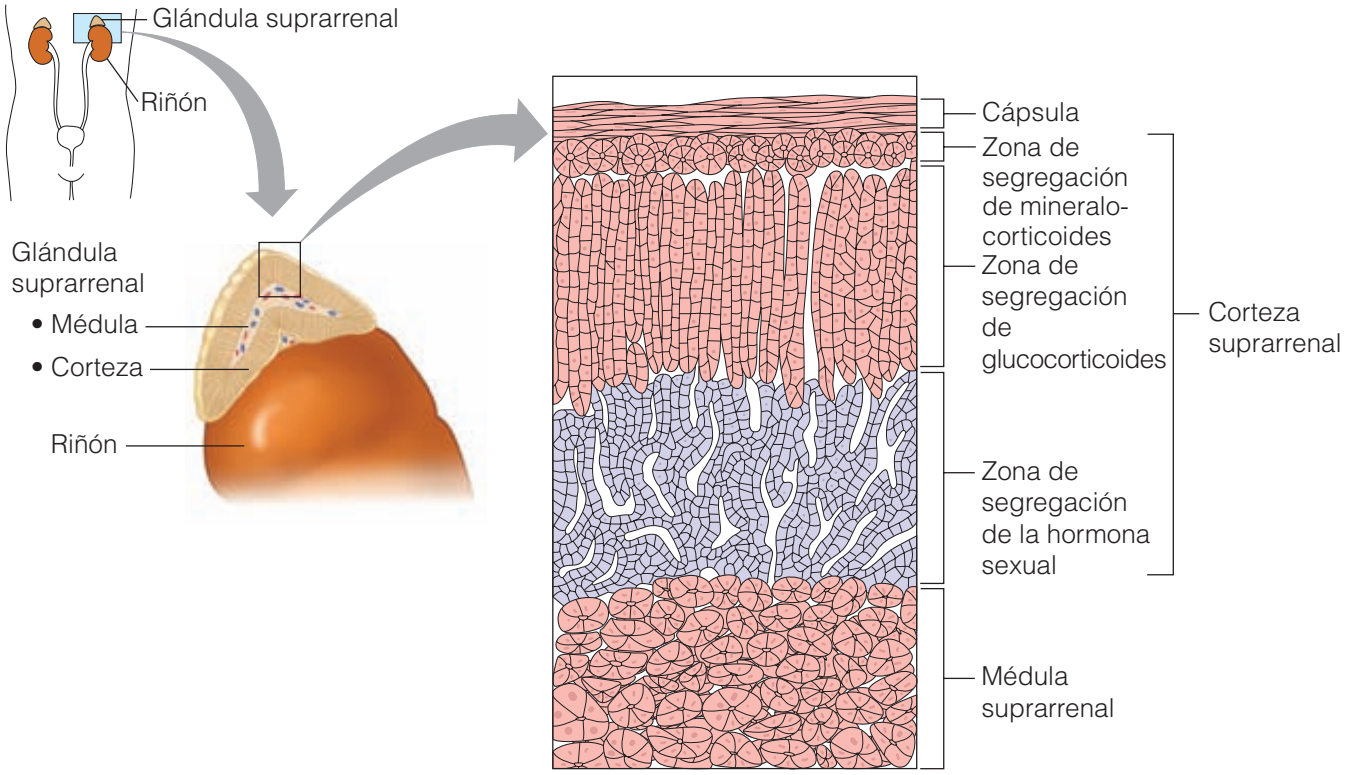


FIGURA 9.11 Estructura microscópica de la glándula suprarrenal.
Diagrama de tres regiones de la corteza suprarrenal y parte de la médula suprarrenal (200×).

contenido mineral (o la sal) de la sangre, en especial las concentraciones de iones de sodio y potasio. Su objetivo son los túbulos del riñón que reabsorben de forma selectiva los minerales o permiten expulsarlos del cuerpo en la orina. Cuando aumentan los niveles en sangre de aldosterona, las células tubulares del riñón reclaman cantidades cada vez mayores de iones de sodio y segregan más iones de potasio en la orina. Una vez que el sodio se ha reabsorbido, el agua va después. Por tanto, los mineralocorticoides ayudan a regular tanto el agua como el equilibrio electrolítico en los fluidos corporales. Como se muestra en la Figura 9.12, la liberación de aldosterona se estimula mediante los factores humorales, tales como menos iones de sodio o más iones de potasio en la sangre (y por ACTH en menor medida). La **renina,** una enzima producida por los riñones cuando se reduce la presión de la sangre, también provoca la liberación de aldosterona al desencadenar una serie de reacciones que forman **angiotensina II,** un potente estimulador de liberación de aldosterona. Una hormona liberada por el corazón, **el péptido natriurético auricular (ANP),** evita la liberación de aldosterona, siendo su objetivo *reducir* el volumen y la presión de la sangre.

La capa cortical media produce principalmente **glucocorticoides,** entre los que se encuentran la **cortisona** y el **cortisol.** Los glucocorticoides promueven un metabolismo celular normal y ayudan al organismo a resistir a los *estresantes de largo tiempo,* principalmente aumentando los niveles de glucosa en sangre. Cuando los niveles en sangre de los glucocorticoides son elevados, las grasas e incluso las proteínas se descomponen a causa de la acción de las células corporales y se convierten en glucosa, la cual se libera a la sangre. Por este motivo, se dice que los glucocorticoides son *hormonas hiperglucémicas.* Asimismo, los glucocorticoides parecen controlar los efectos más desagradables de la inflamación reduciendo el edema y el dolor mediante la inhibición de algunas moléculas causantes del dolor denominadas *prostaglandinas* (véase la Tabla 9.2, pág. 333). Debido a sus propiedades antiinflamatorias, a menudo los glucocorticoides se prescriben como fármacos para suprimir la inflamación de los pacientes con artritis reumatoide. Los glucocorticoi-

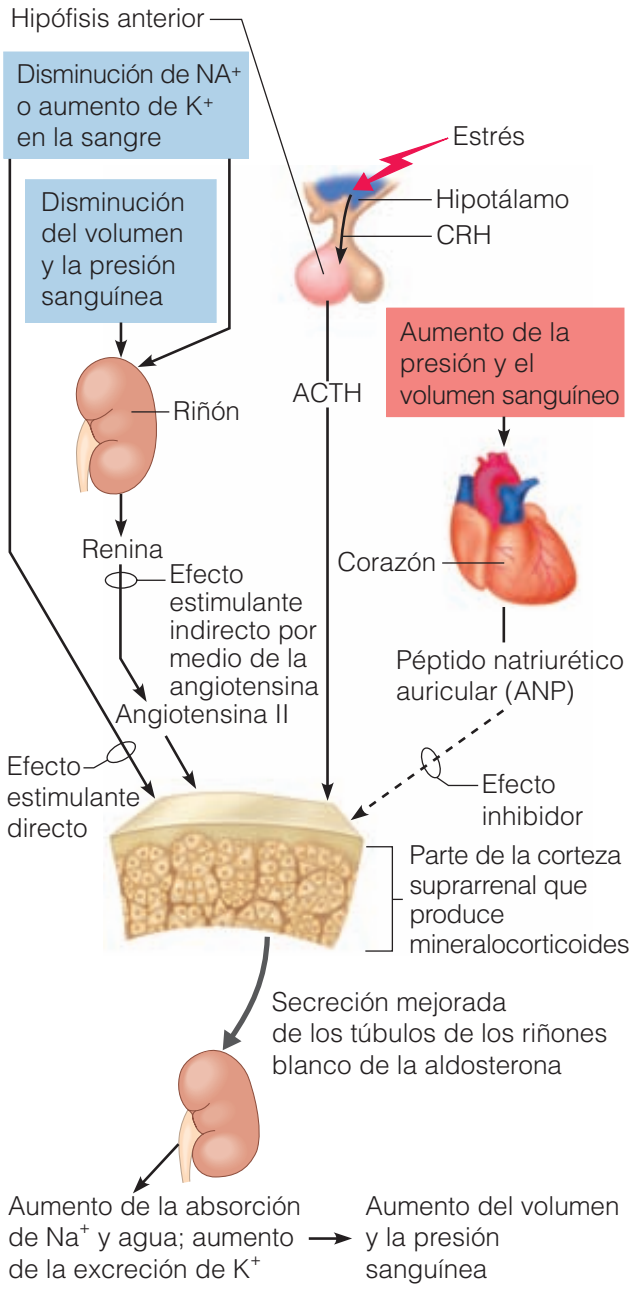


FIGURA 9.12 Principales mecanismos de control de la liberación de aldosterona desde la corteza suprarrenal. Las flechas más grandes indican los factores que estimulan la liberación de aldosterona; las flechas discontinuas indican un factor de inhibición.

des se liberan de la corteza suprarrenal en respuesta al aumento de los niveles de ACTH en sangre.

Tanto en los varones como en las mujeres la corteza suprarrenal produce las **hormonas sexuales** a lo largo de la vida en cantidades relativamente pequeñas. Aunque la mayor parte de las hormonas sexuales que han sido producidas por la capa más interior de la corteza son **andrógenos** (hormonas sexuales masculinas), también se forman algunos **estrógenos** (hormonas sexuales femeninas).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Una hiposecreción generalizada de todas las hormonas de la corteza suprarrenal conduce a la **enfermedad de Addison,** caracterizada por un tono bronce característico en la piel. Debido a que los niveles de aldosterona son bajos, se pierden sodio y agua del cuerpo, lo que lleva a problemas electrolíticos y de equilibrio del agua. Esto, a su vez, hace que los músculos se debiliten y es posible que se produzca un *shock*. Otros síntomas de la enfermedad de Addison son el resultado de niveles deficientes de glucocorticoides como la hipoglucemia, una disminución de la capacidad de controlar el estrés (cansancio) y la supresión del sistema inmune (y, de ese modo, una mayor susceptibilidad a la infección). Una carencia total de glucocorticoides es incompatible con la vida.

Los problemas de hipersecreción pueden resultar de un tumor que libera ACTH y la enfermedad resultante depende de la zona cortical involucrada. La hiperactividad que se produce en la zona cortical más exterior da como resultado **hiperaldosteronismo.** Se retiene un exceso de agua y sodio, lo que lleva a una alta presión sanguínea y a un edema, y se pierde tal cantidad de potasio que la actividad del corazón y el sistema nervioso puede verse trastornada. Cuando el tumor se encuentra en la zona cortical media o el paciente ha estado recibiendo dosis farmacológicas (cantidades superiores a las liberadas en el cuerpo) o glucocorticoides para contrarrestar la enfermedad inflamatoria, se produce el **síndrome de Cushing.** Un exceso de glucocorticoides da como resultado una "cara de luna" hinchada y la apariencia de una "joroba de búfalo" de grasa en la espalda superior. Entre otros efectos comunes e indeseables se encuentran una alta presión de la sangre, hiperglucemia (diabetes esteroidea), debilitamiento de los huesos (cuando se retira la proteína para convertirse en glucosa) y depresión grave del sistema inmune.

La hipersecreción de las hormonas sexuales lleva a la **masculinización,** independientemente de cuál sea el sexo. En los varones adultos estos efectos se pueden camuflar, mientras que en las mujeres los resultados son a menudo dramáticos. Les crece barba y aparece un patrón masculino de distribución de pelo, entre otros efectos. ▲

Las hormonas de la médula suprarrenal

La **médula suprarrenal,** al igual que ocurre con la hipófisis posterior, se desarrolla a partir de un nudo de tejido conectivo. Cuando la médula está estimulada por las neuronas del sistema nervioso simpático, sus células

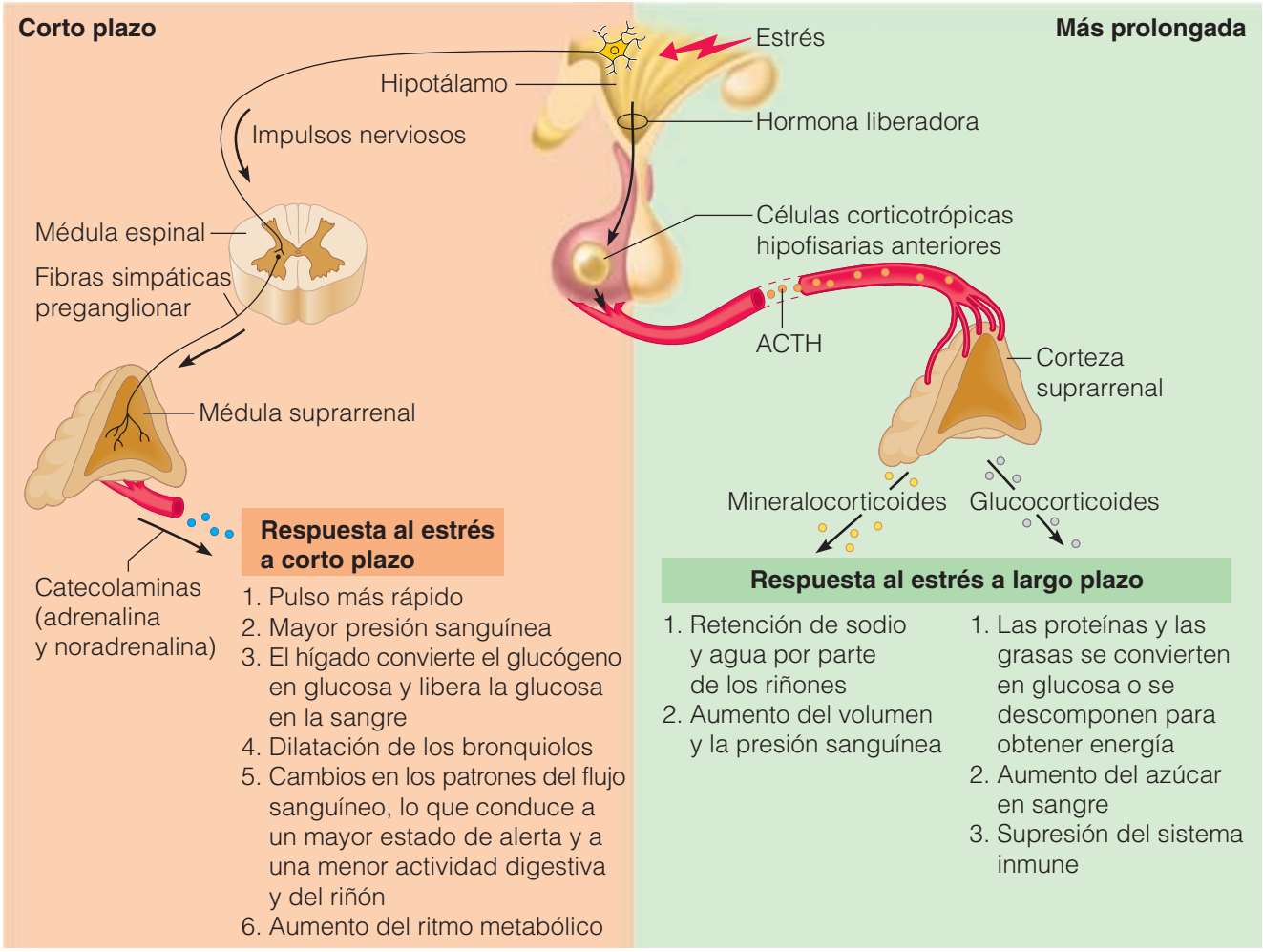


FIGURA 9.13 Importancia del hipotálamo, la médula suprarrenal y la corteza suprarrenal en la respuesta al estrés. (Ten en cuenta que ACTH es sólo un débil estimulador de liberación de mineralocorticoides en condiciones normales).

liberan dos hormonas similares, **adrenalina,** también llamada **epinefrina,** y **noradrenalina (norepinefrina),** al torrente sanguíneo. De forma colectiva estas hormonas se denominan **catecolaminas.** Debido a que algunas neuronas simpáticas también liberan noradrenalina como un neurotransmisor, a menudo se piensa que la médula suprarrenal es un "ganglio del sistema nervioso simpático colocado en un lugar inapropiado".

Cuando estás o (te sientes) amenazado de forma física o emocional, el sistema nervioso simpático genera la respuesta "de lucha o huida" para ayudarnos a manejar la situación. Uno de los órganos que estimula es la médula suprarrenal, la cual bombea sus hormonas al torrente sanguíneo para mejorar y prolongar los efectos de los neurotransmisores del sistema nervioso simpático. Básicamente, las catecolaminas aumentan el pulso del corazón, la presión sanguínea y los niveles de glucosa en sangre, y dilatan los pequeños pasillos de los pulmones. Estos sucesos dan como resultado más oxígeno y glucosa en la sangre y una circulación más rápida de ésta a los órganos corporales (sobre todo al cerebro, los músculos y el corazón). Por tanto, el cerebro está más capacitado para tratar con un estresante de corta duración, ya sea el trabajo luchar, comenzar el proceso inflamatorio, o alertarte para que pienses más claramente (Figura 9.13).

Las catecolaminas de la médula suprarrenal preparan el organismo para manejar una situación de estrés

corta o larga y provocar la llamada *fase de alarma* de la respuesta ante el estrés. Por el contrario, los glucocorticoides están producidos por la corteza suprarrenal y resultan más importantes a la hora de ayudar al organismo a gestionar situaciones estresantes prolongadas o continuas, tales como la muerte de un miembro de la familia o someterse a una operación importante. Los glucocorticoides funcionan principalmente durante la *fase de resistencia* de la respuesta al estrés. Si tienen éxito a la hora de proteger el organismo, el problema se resolverá finalmente sin provocar daños al cuerpo. Cuando el estrés continúa una y otra vez, es posible que la corteza suprarrenal no "se queme", lo que a menudo resulta fatal. Las funciones de los glucocorticoides en la respuesta al estrés se muestran también en la Figura 9.13.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El daño o destrucción de la médula suprarrenal no tiene mayores efectos en tanto que las neuronas del sistema nervioso simpático continúen funcionando de manera normal. Sin embargo, la hipersecreción de catecolaminas conduce a los típicos síntomas de actividad excesiva del sistema nervioso simpático: pulso acelerado, alta presión sanguínea y una tendencia a transpirar y estar muy irritable. La extracción quirúrgica de células que segregan catecolamina cura esta enfermedad. ▲

Los islotes pancreáticos

El **páncreas,** situado cerca del estómago en la cavidad abdominal (véase la Figura 9.3), es una glándula mixta. Probablemente los **islotes pancreáticos** sean las glándulas endocrinas mejor escondidas, también llamados **islotes de Langerhans.** Estas pequeñas masas de tejido productor de hormonas están repartidas por el tejido acinar del páncreas, el cual produce enzimas. La parte exocrina (productora de enzimas) del páncreas, que actúa como parte del sistema digestivo, se tratará después; aquí sólo abarcaremos los islotes pancreáticos.

Aunque hay más de un millón de islotes, separados por las células exocrinas, cada uno de estos pequeños grupos de células crea enérgicamente sus hormonas y trabaja como un órgano dentro de un órgano. Dos hormonas importantes producidas por las células islotes son la **insulina** y el **glucagón.** Los islotes también producen pequeñas cantidades de otras hormonas, pero no los trataremos aquí.

Las células islote actúan como sensores de combustible, segregando insulina y glucagón apropiadamente durante los estados de alimento y ayuno. Los altos niveles de glucosa en sangre estimulan la liberación de insulina desde las **células beta** (Figura 9.14) de los islotes. La insulina actúa en casi todas las células corporales y aumenta su capacidad de transportar glucosa por sus membranas de plasma. Una vez se ha introducido en las células, la glucosa se oxidiza para obtener energía o se convierte en glucógeno o grasa para almacenar. La insulina también acelera estas actividades. Debido a que la insulina elimina la glucosa de la sangre, se dice que su efecto es *hipoglucémico.* Cuando caen los niveles en sangre de glucosa finaliza el estímulo para la liberación de insulina: se trata de otro caso clásico de control negativo de la retroalimentación. Muchas hormonas tienen efectos hiperglucémicos (glucagón, glucocorticoides o adrenalina, por nombrar algunas de ellas), pero la insulina es la única hormona que disminuye los niveles de glucosa en sangre. La insulina resulta totalmente necesaria para que las células corporales utilicen la glucosa. Sin ella, la glucosa no puede entrar en las células para ser utilizada.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Sin insulina, los niveles en sangre de glucosa (que normalmente oscilan entre 80 y 120 mg/100 ml de sangre) se elevan a niveles muy altos (por ejemplo, 600 mg/100 ml de sangre). En estos casos, la glucosa empieza a derramarse en la orina debido a que las células tubulares del riñón no la pueden reabsorber lo suficientemente rápido. Cuando la glucosa sale del cuerpo, el agua le sigue, lo que lleva a la deshidratación.

El nombre clínico para esta enfermedad es **diabetes *mellitus,*** que literalmente significa que algo dulce (*mel* = miel) está pasando por o desviándose del cuerpo. Dado que las células no pueden usar la glucosa, las grasas e incluso las proteínas se descomponen y se utilizan para obtener la energía necesaria para el organismo. Por consiguiente, el peso corporal comienza a disminuir. La pérdida de proteínas corporales lleva a una menor capacidad de combatir las infecciones, de forma que los diabéticos deben tener especial cuidado con la higiene y el cuidado de incluso los golpes y los cortes más pequeños.

Cuando se utilizan grandes cantidades de grasa para producir energía, la sangre se vuelve muy acídica **(acidosis),** a medida que los ketones (productos intermedios de la descomposición de la grasa) aparecen en la sangre. Sobre la base de la causa, esta enfermedad de la acidosis se denomina **ketosis.** A menos que se corrija, se produce un estado de coma y la muerte posterior. Los tres signos principales de la diabetes *mellitus* son: (1) **poliuria:** orina excesiva para eliminar la glucosa y los ketones; (2) **polidipsia:** sed excesiva como resultado de la pérdida de agua; (3) **polifagia:** hambre que se produce como consecuencia de la incapacidad de utilizar azúcares y la pérdida de grasas y proteínas del organismo.

Las personas con casos medios de diabetes *mellitus* (la mayoría de los casos de tipo 2, o diabetes del adulto) producen insulina, pero por algún motivo sus receptores de insulina son incapaces de responder a ella, una situación

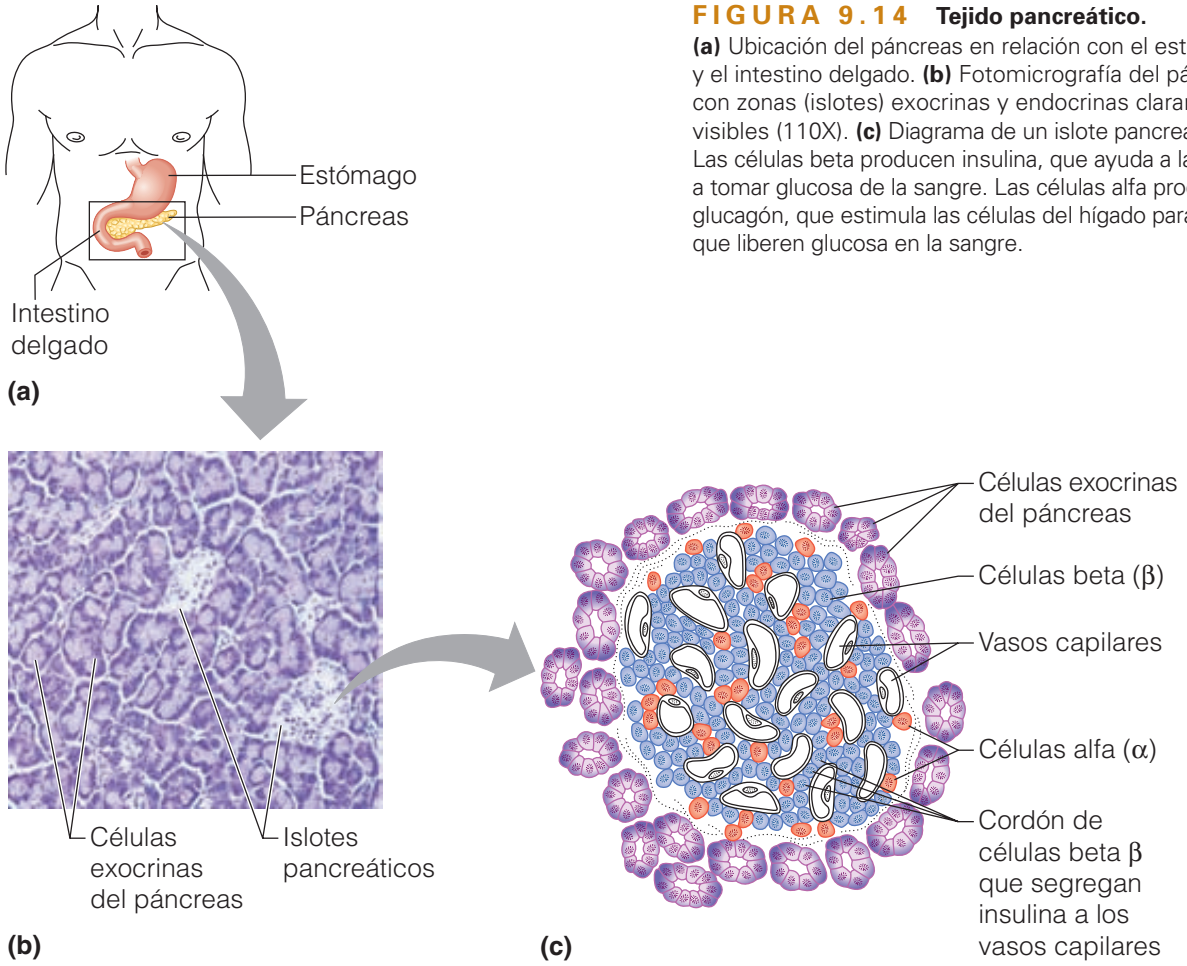


FIGURA 9.14 Tejido pancreático.
(a) Ubicación del páncreas en relación con el estómago y el intestino delgado. **(b)** Fotomicrografía del páncreas con zonas (islotes) exocrinas y endocrinas claramente visibles (110X). **(c)** Diagrama de un islote pancreático. Las células beta producen insulina, que ayuda a las células a tomar glucosa de la sangre. Las células alfa producen glucagón, que estimula las células del hígado para que liberen glucosa en la sangre.

denominada **resistencia a la insulina.** Los diabéticos del tipo 2 se tratan con dietas especiales o medicamentos hipoglucémicos que hacen que los perezosos islotes actúen y aumenten la sensibilidad de los tejidos blanco a la insulina y de las células beta a los efectos estimulantes de la glucosa. Para regular los niveles de glucosa en sangre en los diabéticos (juvenil, frágil) del tipo 1, más grave, la insulina se infunde de forma continua mediante una bomba de insulina que se lleva de forma externa, o se administra a lo largo del día mediante un régimen de inyecciones de insulina. ▲

El glucagón actúa como un antagonista de insulina, esto es, ayuda a regular los niveles de glucosa en sangre, pero de una forma contraria a la de la insulina (Figura 9.15). La liberación de los islotes mediante las **células alfa** (véase la Figura 9.14c) se estimula a través de bajos niveles de glucosa en sangre. Su acción es hiperglucémica. Su órgano diana primario es el hígado, al que estimula para descomponer el glucógeno almacenado en glucosa y liberar la glucosa a la sangre. No se conocen trastornos importantes derivados de la hipohipersecreción de glucagón.

¿LO HAS ENTENDIDO?

13. ¿Qué hormona estimula los riñones para que reabsorban más sodio?
14. El marido de la señora Martínez ha sufrido un infarto y está hospitalizado. ¿Cabe esperar que sus niveles de glucosa en sangre sean elevados, normales o inferiores a lo normal? ¿Por qué?
15. ¿Qué grupo de hormonas producidas por la corteza suprarrenal tiene algunos de los mismos efectos que los ovarios y los testículos?
16. La insulina y el glucagón son hormonas pancreáticas. ¿Cuál de ellas estimula la absorción de glucosa?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

P *¿Qué le ocurre a la capacidad del hígado de sintetizar y almacenar el glucógeno cuando se elevan los niveles de glucagón en sangre?*

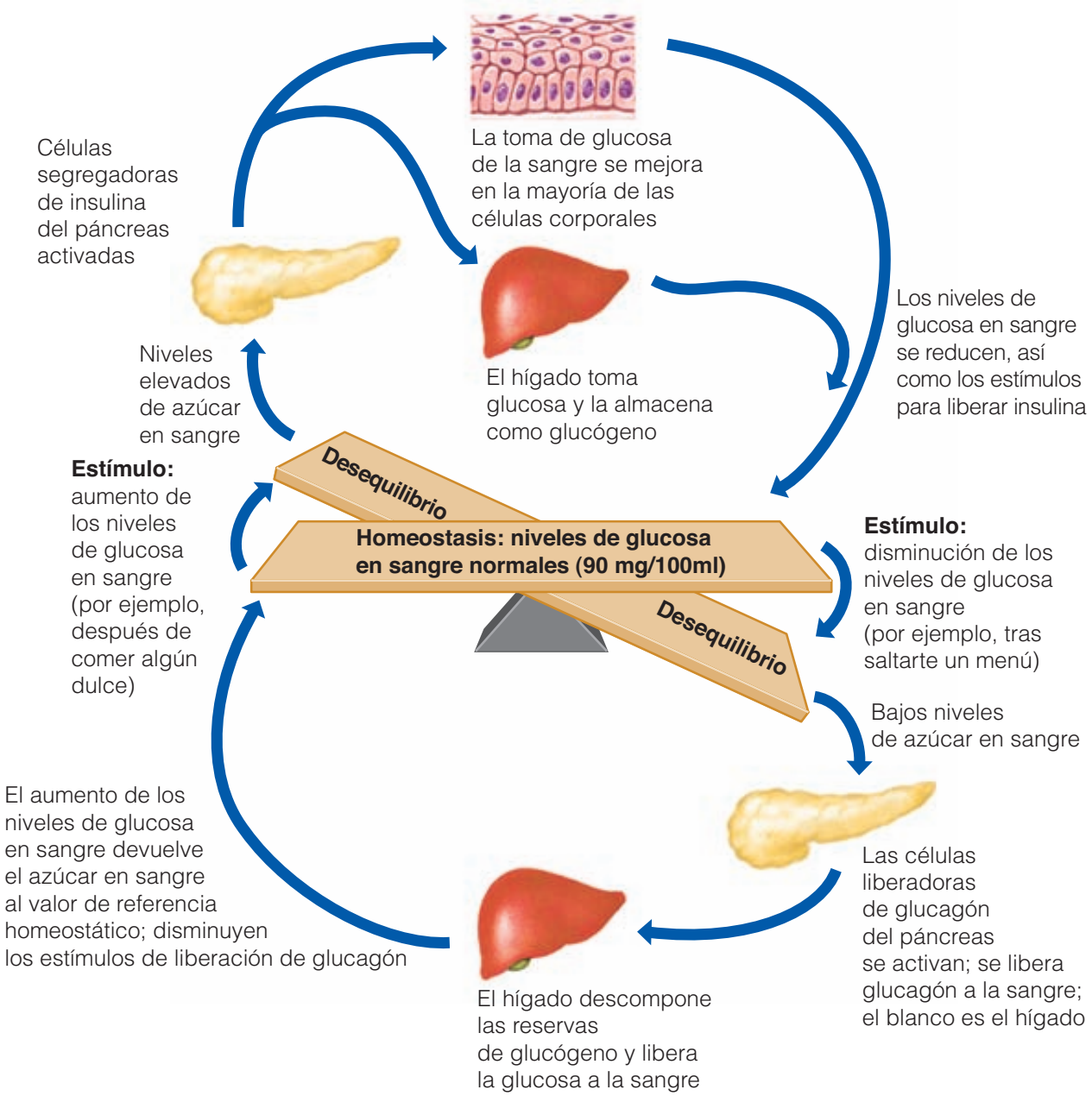


FIGURA 9.15 **Regulación de los niveles de glucosa en sangre mediante un mecanismo de retroalimentación negativa en relación con las hormonas pancreáticas.**

R *El glucagón impide las actividades del hígado, de forma que la capacidad del hígado de realizarlas disminuye cuando aumenta el nivel de glucagón en sangre.*

La glándula pineal

La **glándula pineal**, también denominada **cuerpo pineal,** es una glándula pequeña con forma de cono que cuelga del tejado del tercer ventrículo del cerebro (véase la Figura 9.3). La función endocrina de esta pequeña glándula sigue siendo un misterio en cierta medida. Aunque muchas sustancias químicas se han identificado en la glándula pineal, sólo la hormona **melatonina** parece ser segregada en cantidades importantes. Los niveles de melatonina suben y bajan a lo largo del día y la noche. Los máximos niveles se producen por la noche y nos hacen tener sueño, mientras que los menores niveles tienen lugar durante la luz del día, alrededor del mediodía. Se cree que la melatonina es un desencadenante del sueño que desempeña un papel importante a la hora de establecer el círculo día-noche del organismo. En algunos animales, la melatonina ayuda a regular el comportamiento y los ritmos de apareamiento. En los seres humanos se cree que coordina las hormonas de fertilidad e inhibe al sistema reproductivo (especialmente los ovarios) de forma que la maduración sexual no suceda antes de que se haya alcanzado el tamaño corporal adulto.

La glándula timo

La **glándula timo** se encuentra en el tórax superior, detrás del esternón. Esta glándula tiene un tamaño grande en la infancia y disminuye a lo largo de la edad adulta. En la edad anciana está compuesta principalmente de tejido conectivo fibroso y grasa. El timo produce una hormona llamada **timosina** y otras que parecen ser fundamentales para el normal desarrollo de un grupo especial de glóbulos blancos *(linfocitos T, o células T)* y la respuesta inmune. La función del timo (y sus hormonas) en la inmunidad se describe en el Capítulo 12.

Las gónadas

Las gónadas femeninas y masculinas (véase la Figura 9.3) producen hormonas sexuales que son idénticas a las producidas por las células de la corteza suprarrenal. Las principales diferencias son la fuente y las cantidades relativas que se producen.

Las hormonas de los ovarios

Las *gónadas* femeninas, u **ovarios,** son órganos parejos del tamaño de una almendra situados en la cavidad pélvica. Además de producir las células sexuales femeninas (huevos u óvulos), los ovarios producen dos grupos de hormonas esteroides, **estrógenos** y **progesterona.**

Los estrógenos son los responsables del desarrollo de las características sexuales de las mujeres (crecimiento primario y maduración de los órganos reproductivos) y la aparición de características sexuales secundarias (pelo en la zona púbica y en las axilas). Si actúan con la progesterona, los estrógenos promueven el desarrollo del pecho y los cambios cíclicos en el forro uterino (el **ciclo menstrual).**

La progesterona, como ya hemos comentado, actúa junto con los estrógenos para producir el ciclo menstrual. Durante el embarazo, mantiene calmados los músculos del útero de forma que un embrión implantado no sea abortado y ayuda a preparar el tejido del pecho para la lactancia.

Los ovarios se estimulan para que liberen sus estrógenos y la progesterona de forma cíclica mediante la acción de las hormonas gonadotrópicas hipofisarias anteriores. Se proporcionan más detalles sobre este ciclo de retroalimentación y la estructura, el funcionamiento, así como los controles de los ovarios, en el Capítulo 16, pero debería resultar obvio que la hiposecreción de las hormonas de los ovarios dificulta gravemente la capacidad de una mujer para concebir y gestar niños.

Las hormonas de los testículos

La pareja de **testículos** ovales de los varones están suspendida en un saco, el *escroto,* fuera de la cavidad pélvica. Además de las células sexuales masculinas, o *esperma,* los testículos también producen las hormonas sexuales masculinas, o **andrógenos,** de los que la **testosterona** es la más importante. En la pubertad, la testosterona promueve el crecimiento y la maduración de los órganos del sistema reproductivo para preparar a los jóvenes para la reproducción. Asimismo, es la causante de las características sexuales secundarias de los varones (crecimiento del pelo de la cara, desarrollo de huesos pesados y músculos, y agravamiento de la voz) para estimular la predominancia sexual del varón.

En adultos, la testosterona resulta necesaria para la producción continua de esperma. En los casos de hiposecreción, el varón se vuelve estéril; dichos casos se tratan mediante inyecciones de testosterona. La liberación de hormonas gonadales está controlada por las gonadotropinas hipofisarias anteriores, como se ha descrito con anterioridad. La producción de testosterona está estimulada específicamente por LH. El Capítulo 16, que trata del sistema reproductivo, contiene más información sobre la estructura y la función exocrina de los testículos.

La Tabla 9.1 resume las glándulas endocrinas principales y algunas de sus hormonas.

TABLA 9.1 Principales glándulas endocrinas y algunas de sus hormonas

Glándula		Hormona	Clase química	Acciones representativas	Regulado por
Cuerpo pineal		Melatonina	Amina	Involucrado en el ritmo biológico (diario y temporal)	Ciclos claro/oscuro
Hipotálamo		Hormonas liberadas por la hipófisis posterior. Hormonas liberadoras e inhibidoras que regulan la hipófisis anterior (véase más abajo)			
Hipófisis					
• Lóbulo posterior (libera hormonas producidas por el hipotálamo)		Oxitocina	Péptido	Estimula la contracción del útero y el reflejo de expulsión de la leche	Sistema nervioso (hipotálamo) en respuesta al estiramiento uterino y el amamantamiento de un niño
		Hormona antidiurética (ADH)	Péptido	Promueve la retención del agua por parte de los riñones	Hipotálamo en respuesta al desequilibrio agua/sal
• Lóbulo anterior		Hormona del crecimiento (GH)	Proteína	Estimula el crecimiento (especialmente de los huesos y músculos) y el metabolismo	Liberación hipotalámica y las hormonas inhibidoras
		Prolactina (PRL)	Proteína	Estimula la producción de leche	Hormonas hipotalámicas
		Hormona estimuladora de folículos (FSH)	Proteína	Estimula la producción de óvulos y esperma	Hormonas hipotalámicas
		Hormona luteneizadora (LH)	Proteína	Estimula los ovarios y testículos	Hormonas hipotalámicas
		Hormona estimulante de la tiroides (TSH)	Proteína	Estimula la glándula tiroides	Tiroxina en la sangre; hormonas hipotalámicas
		Hormona adrenocorticotrópica (ACTH)	Proteína	Estimula la corteza suprarrenal para que segregue glucocorticoides	Glucocorticoides; hormonas hipotalámicas
Glándula tiroides		Tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3)	Amina	Estimula el metabolismo	TSH

TABLA 9.1 *(continuación)*

Glándula		Hormona	Clase química	Acciones representativas	Regulado por
Glándula tiroides		Calcitonina	Péptido	Reduce el nivel de calcio en sangre	Nivel de calcio en sangre
Glándulas paratiroides		Hormona paratiroidea (PTH)	Péptido	Eleva el nivel de calcio en sangre	Nivel de calcio en sangre
Glándula timo		Timosina	Péptido	"Programas" linfocitos T	Desconocido
Glándulas adrenales					
• Médula suprarrenal		Adrenalina y noradrenalina	Aminas	Eleva el nivel de glucosa en sangre, incrementa el ritmo del metabolismo, constriñe determinados vasos sanguíneos	Sistema nervioso (división simpática)
• Corteza suprarrenal		Glucocorticoides	Esteroides	Aumenta la glucosa en sangre	ACTH
		Mineralocorticoides	Esteroides	Promueve la reabsorción de Na^+ y la excreción de K^+ en los riñones	Cambios en el volumen y la presión sanguínea, niveles de K^+ (potasio) o Na^+ en sangre
Páncreas		Insulina	Proteína	Reduce la glucosa en sangre	Nivel de glucosa en sangre
		Glucagón	Proteína	Eleva la glucosa en sangre	Nivel de glucosa en sangre
Gónadas					
• Testículos		Andrógenos	Esteroides	Promueve la formación de esperma, desarrollo y mantenimiento de las características sexuales masculinas secundarias	FSH y LH
• Ovarios		Estrógenos	Esteroides	Estimula el crecimiento del forro uterino, desarrollo y mantenimiento de las características sexuales femeninas secundarias	FSH y LH
		Progesterona	Esteroides	Promueve el crecimiento de la vida en el útero	FSH y LH

¿LO HAS ENTENDIDO?

17. ¿Qué hormona se denomina la hormona del sueño y que órgano endocrino la produce?
18. ¿Cómo ayudan la timosina y otras hormonas a proteger el organismo?
19. ¿Qué hormona gonadal hace que una chica joven desarrolle características femeninas en la pubertad: los estrógenos o la progesterona?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Otros tejidos y órganos que producen hormonas

Aparte de los principales órganos endocrinos, se encuentran bolsas de células productoras de hormonas en el tejido adiposo y en las paredes del intestino delgado, el estómago, los riñones y el corazón; órganos cuyas funciones principales tienen poco que ver con la producción de hormonas. Debido a que la mayoría de estas hormonas se describen en capítulos posteriores, sólo se resumen las principales características en la Tabla 9.2. A continuación únicamente trataremos las hormonas de la placenta.

La placenta

La **placenta** es un órgano importante formado de forma temporal en el útero de las mujeres en estado. Además de las funciones relacionadas con el sistema respiratorio, excretor y de nutrición del feto, también produce diversas proteínas y hormonas esteroides que ayudan a mantener el embarazo y allanan el camino para el parto.

En los primeros momentos del embarazo el embrión en desarrollo produce una hormona denominada **gonadotropina coriónica humana (hCG)** y con posterioridad la produce la parte fetal de la placenta. Al igual que la LH (hormona luteinizante), la hCG estimula los ovarios para que éstos *continúen* produciendo estrógeno y progesterona, de forma que el forro del útero no mude con la menstruación. (Las pruebas de embarazo que se venden en las tiendas analizan la presencia de hCG en la orina de la mujer). En el tercer mes de embarazo, la placenta asume la labor de producir estrógeno y progesterona, y los ovarios se vuelven inactivos para el resto del embarazo. Los altos niveles de estrógeno y progesterona en sangre mantienen el forro del útero (y, por tanto, el embarazo) y preparan los pechos para producir leche. El **lactógeno placentario humano (hPL)** trabaja junto con el estrógeno y la progesterona en la preparación de los pechos para la lactancia. La **relaxina,** otra hormona placentaria, hace que los ligamentos pélvicos de la madre y la sínfisis púbica se relajen y sean más flexibles, lo que facilita el alumbramiento.

Formación y desarrollo del sistema endocrino

El desarrollo embriónico de las glándulas endocrinas varía. La hipófisis se deriva del epitelio de la cavidad oral y un saliente de un tejido nervioso del hipotálamo. El cuerpo pineal es un tejido nervioso por completo. Las glándulas epiteliales se desarrollan como pequeñas evaginaciones de la mucosa del tracto digestivo. Éstas son la tiroides, el timo y el páncreas. La formación de las gónadas y las glándulas adrenales y paratiroides resulta mucho más compleja y no se tratara aquí.

A menos que existan disfunciones claras de las glándulas endocrinas, la mayoría de los órganos endocrinos parecen funcionar adecuadamente hasta la vejez. En la mediana edad la eficiencia de los ovarios comienza a decaer, lo que provoca la **menopausia** (denominada comúnmente "el cambio de vida"). Durante este periodo, los órganos reproductivos de una mujer comienzan a atrofiarse y la capacidad de engendrar hijos termina. Comienzan a aparecer problemas asociados a la deficiencia de estrógenos, tales como la arteriosclerosis, osteoporosis, menor elasticidad de la piel, y se producen cambios en el funcionamiento del sistema nervioso simpático que dan como resultado "golpes de calor". Además, son comunes la fatiga, el estado de nervios y los cambios de humor como la depresión. No suelen ocurrir cambios tan dramáticos en los varones. De hecho, muchos varones se mantienen fértiles a lo largo de toda su vida, lo que indica que la testosterona se sigue produciendo en cantidades adecuadas.

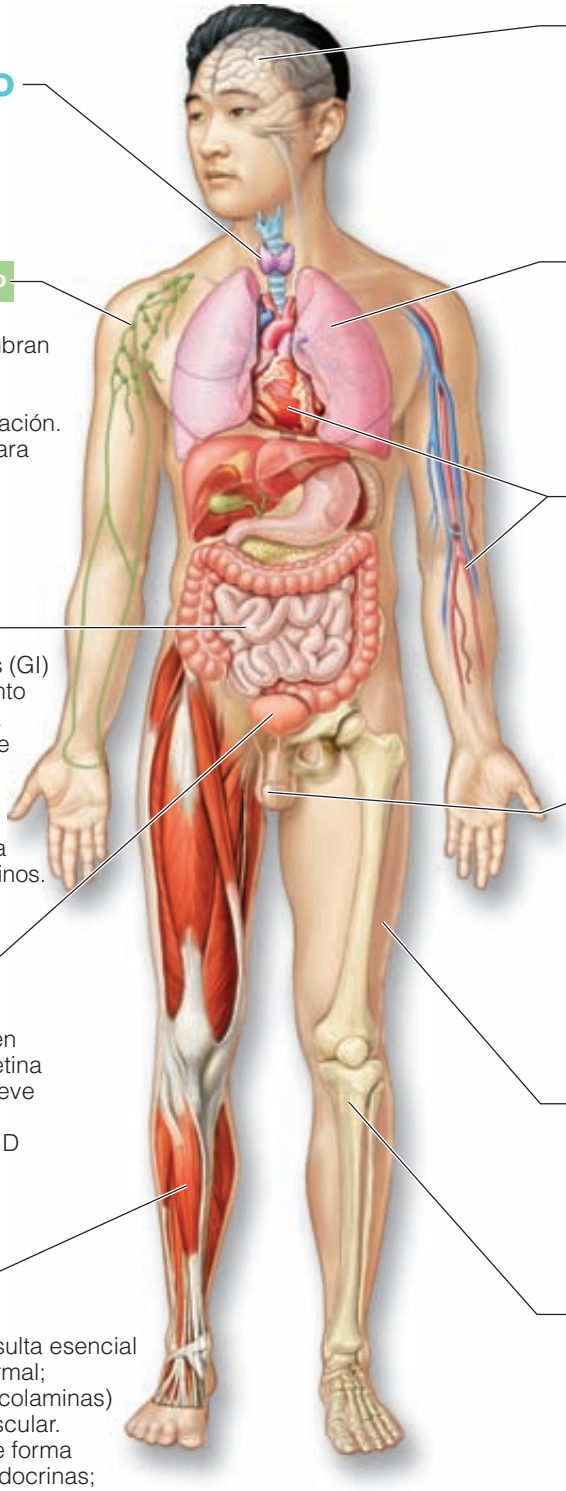
La eficiencia del sistema endocrino en su conjunto se reduce de forma gradual en la vejez. Los fuertes cambios en las mujeres de edad avanzada se deben a la disminución de los niveles de hormonas femeninas y no importa que la producción de la hormona del crecimiento por parte de la hipófisis anterior disminuya, lo que en parte explica el atrofiamiento muscular de la vejez. Las personas mayores son menos capaces de resistir el estrés y la infección. Esta resistencia disminuida puede resultar en una superproducción o producción menor de las hormonas defensivas, dado que ambas "hacen descarrilar" el equilibrio de defensa ante el estrés y alteran el

TABLA 9.2 Hormonas producidas por otros órganos distintos a los principales órganos endocrinos

Hormonas	Composición química	Fuente	Estímulo para la secreción	Órganos blanco/efectos
Prostaglandinas (PG), varios grupos indicados por las letras A-I (PGA-PGI)	Derivadas de las moléculas de ácidos grasos	Membranas de plasma de casi todas las células corporales	Varios (local, irritación, hormonas, etc.)	Tienen muchos blancos, pero actúan de forma local en el lugar de liberación. Entre los ejemplos de efectos encontramos: aumento de la presión sanguínea actuando como vasoconstrictores, constricción de las vías respiratorias, estimulación de los músculos del útero, favorecimiento del parto, mejora de la coagulación de la sangre, aumento de las segregaciones digestivas del estómago, fiebre.
Gastrina	Péptido	Estómago	Comida	*Estómago:* estimula las glándulas para que liberen ácido clorhídrico (HCl).
Gastrina intestinal	Péptido	Duodeno del intestino delgado	Comida, especialmente grasas	*Estómago:* impide la secreción de HCl y la movilidad del tracto gastrointestinal.
Secretina	Péptido	Duodeno	Comida	*Páncreas:* estimula la liberación de fluido rico en bicarbonato. Hígado*:* estimula la liberación de la bilis. *Estómago:* disminuye las secreciones.
Pancreomicina (CCK)	Péptido	Duodeno	Comida	*Páncreas:* estimula la liberaciónde fluido rico en enzimas. *Vesícula biliar:* estimula la expulsión de la bilis almacenada. *Papilla duodenal:* hace que el esfínter se relaje, lo que permite que la bilis y el jugo pancreático entren en el duodeno.
Eritropoietina	Glucoproteína	Riñón	Hipoxia	*Médula ósea:* estimula la producción de glóbulos rojos.
Vitamina activa D_3	Esteroide	Riñón (activa la provitamina D fabricada por las células epidérmicas)	PTH	*Intestino:* estimula el transporte activo del calcio proveniente de la dieta a lo largo de las membranas celulares del intestino.
Péptido natriurético auricular (ANP)	Péptido	Corazón	Estiramiento de las aurículas del corazón	*Riñón:* impide la reabsorción de iones de sodio y la liberación de renina. *Corteza suprarrenal:* impide la secreción de aldosterona, lo que reduce el volumen y la presión sanguíneas.
Leptina	Péptido	Tejido adiposo	Comidas grasientas	*Cerebro:* suprime el apetito y aumenta el gasto de energía.
Resistina	Péptido	Tejido adiposo	Desconocido	*Grasa, músculo, hígado:* antagoniza la acción de la insulina en las células del hígado.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA ENDOCRINO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema endocrino

Sistema linfático/inmunológico

- Los linfocitos "programados" por las hormonas del timo siembran los nodos de la linfa; los glucocorticoides disminuyen la respuesta inmune y la inflamación.
- La linfa proporciona una ruta para transportar las hormonas.

Sistema digestivo

- Las hormonas gastrointestinales (GI) locales influyen el funcionamiento de las GI; vitamina D necesaria para reabsorber el calcio desde la dieta activada; las catecolaminas influyen en la actividad del sistema digestivo.
- El sistema digestivo proporciona nutrientes a los órganos endocrinos.

Sistema urinario

- La aldosterona y la ADH influyen en la función renal; la eritropoietina liberada por los riñones promueve la formación de glóbulos rojos.
- Los riñones activan la vitamina D (considerada una hormona).

Sistema muscular

- La hormona del crecimiento resulta esencial para el desarrollo muscular normal; otras hormonas (tiroxina y catecolaminas) influyen en el metabolismo muscular.
- El sistema muscular protege de forma mecánica alguna glándulas endocrinas; la actividad muscular promueve la liberación de catecolamina.

Sistema nervioso

- Muchas hormonas (hormona del crecimiento, tiroxina, hormonas sexuales) influyen en la maduración normal y el funcionamiento del sistema nervioso.
- El hipotálamo controla el funcionamiento de la hipófisis anterior.

Sistema respiratorio

- La adrenalina influye en la ventilación (dilata los bronquiolos).
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina el dióxido de carbono; al convertir las enzimas en los pulmones convierte la angiotensina I en angiotensina II.

Sistema cardiovascular

- Varias hormonas influyen en el volumen de la sangre, la presión sanguínea y la contractilidad del corazón; la eritropoietina estimula la producción de glóbulos rojos.
- La sangre es el principal medio de transporte de las hormonas; el corazón produce péptidos natriuréticos auriculares.

Sistema reproductor

- Las hormonas del hipotálamo, la hipófisis anterior y las gónadas dirigen el funcionamiento y el desarrollo del sistema reproductivo; la oxitocina y la prolactina están relacionadas con el nacimiento y el amamantamiento.
- Las hormonas gonadales se retroalimentan para influir en el funcionamiento del sistema endocrino.

Sistema integumentario

- Los andrógenos activan las glándulas sebáceas; los estrógenos aumentan la hidratación de la piel.
- La piel produce un precursor de vitamina D (colecalciferol o provitamina D).

Sistema esquelético

- El PTH resulta importante a la hora de regular los niveles de calcio en sangre; la hormona del crecimiento, T_3 y T_4, y las hormonas sexuales resultan necesarias para el desarrollo esquelético normal.
- El esqueleto protege a algunos órganos endocrinos, especialmente los del cerebro, el pecho y la pelvis.

metabolismo general del organismo. De forma adicional, la exposición a muchos pesticidas, productos químicos, dioxina y otros contaminantes de la tierra y el agua disminuye la función endocrina, lo que puede explicar las mayores tasas de cáncer entre los adultos mayores en ciertas zonas de EE. UU. Las personas mayores suelen tener un ligero hipotiroidismo, y todas las personas mayores registran un descenso en la producción de insulina. La diabetes tipo 2 es más común en este grupo de edad.

¿LO HAS ENTENDIDO?

20. ¿Qué dos órganos del sistema digestivo son importantes fuentes de hormonas asociadas a la digestión?
21. ¿Qué órgano temporal produce las mismas hormonas que los ovarios?
22. ¿Cuál es el órgano cuya disfunción produce la menopausia en las mujeres?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se presentan unas herramientas de estudio interactivo que sirven a modo de repaso adicional de los temas clave del Capítulo 9.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas. Visión general (págs. 310-313)

1. El sistema endocrino es uno de los sistemas principales de control del organismo. Por medio de las hormonas estimula procesos de larga duración como el crecimiento y el desarrollo, el metabolismo, la reproducción y la defensa del organismo.
2. Los órganos endocrinos son pequeños y se encuentran ampliamente separados en el organismo. Algunos forman parte de las glándulas mixtas (endocrinas y exocrinas). Otros simplemente producen hormonas.
3. Casi todas las hormonas tienen base de aminoácidos o esteroides.
4. Los órganos endocrinos se activan para liberar sus hormonas a la sangre mediante estímulos hormonales, humorales o nerviosos. La retroalimentación negativa resulta importante a la hora de regular niveles hormonales en la sangre.
5. Las hormonas transportadas en la sangre alteran las actividades de sus órganos diana. La capacidad de un órgano blanco para responder a una hormona depende de la presencia de receptores en o sobre las células a las que la hormona se une o adhiere.
6. Las hormonas con base de aminoácidos actúan por medio de segundos mensajeros. Las hormonas esteroideas influyen directamente en el DNA de las células blanco.

IP Endocrine System; Topic: Endocrine System Review, págs. 1-5.

WEB Actividad: Chapter 9, Hormones and Their Target Cells.

Los principales órganos endocrinos (págs. 313-332)

1. La hipófisis
   a. La hipófisis cuelga del hipotálamo del cerebro por un tallo y está encerrada por los huesos. Se compone de una parte glandular (anterior) y una neural (posterior).
   b. A excepción de la hormona del crecimiento y la prolactina, las hormonas hipofisarias anteriores son todas hormonas trópicas.
      (1) La hormona del crecimiento (GH): una hormona anabólica y conservadora de proteínas que promueve el crecimiento corporal total. Su efecto más importante se encuentra en los músculos esqueléticos y en los huesos. La hiposecreción no tratada durante la infancia da como resultado un enanismo pituitario; la hipersecreción produce gigantismo (en la infancia) y acromegalia (en la edad adulta).
      (2) Prolactina (PRL): estimula la producción de la leche de los pechos.
      (3) La hormona adrenocorticotrópica (ACTH): estimula la corteza suprarrenal para liberar sus hormonas.
      (4) La hormona estimuladora de la tiroides (TSH): estimula la glándula tiroides para que libere las hormonas tiroideas.
      (5) Hormonas gonadotrópicas
         (a) Hormona estimulante de los folículos (FSH): desde la pubertad estimula el desarrollo de folículos y la producción de estrógenos por parte de los ovarios de las mujeres; favorece la producción de esperma en el varón.
         (b) Hormona luteinizante (LH): desde la pubertad estimula la ovulación y hace que el folículo roto del ovario produzca progesterona; estimula los testículos masculinos para producir testosterona.

c. La liberación y la inhibición de hormonas por parte del hipotálamo regulan la liberación de hormonas por parte de la hipófisis anterior. El hipotálamo también crea dos hormonas que se transportan a la hipófisis posterior para el almacenamiento y la liberación posterior.

IP Endocrine System; Topic: Hypothalamic-Pituitary Axis, págs. 1-3.

d. La hipófisis posterior almacena y libera hormonas hipotalámicas cuando es necesario.

(1) Oxitocina: estimula las potentes contracciones uterinas y provoca la expulsión de la leche en las madres.

(2) La hormona antidiurética (ADH): hace que las células tubulares del riñón reabsorban y conserven el agua corporal y aumente la presión sanguínea al constreñir los vasos sanguíneos. La hiposecreción lleva a la diabetes insípida.

WEB Actividad: Chapter 9, Endocrine Case Study.

2. La glándula tiroides

a. La glándula tiroides se encuentra en la parte delantera de la garganta.

b. La hormona tiroidea (tiroxina [T_4] y triyodotironina [T_3]) se liberan de los folículos tiroideos cuando aumentan los niveles en sangre de TSH. La hormona tiroidea es la hormona metabólica del organismo. Aumenta el ritmo al que las células oxidizan la glucosa y resulta necesaria para un crecimiento y desarrollo normales. La falta de yodina produce bocio. La hiposecreción de tiroxina da como resultado cretinismo en los niños y mixedema en adultos. La hipersecreción resulta de la enfermedad de Graves u otras formas de hipertiroidismo.

IP Endocrine System; Topic: Hormone Imbalances, pág. 3.

WEB Actividad: Chapter 9, At the Clinic: Endocrine System.

c. Las células parafoliculares que rodean los folículos tiroideos liberan la calcitonina como respuesta a los altos niveles de calcio en sangre. Hace que el calcio se deposite en los huesos.

3. Las glándulas paratiroides

a. Las glándulas paratiroides son cuatro glándulas pequeñas situadas en la parte posterior de la glándula tiroides.

b. Los bajos niveles de calcio en sangre estimulan las glándulas paratiroides para que liberen la hormona paratiroidea (PTH). Hace que el calcio de los huesos se libere a la sangre. La hiposecreción de PTH resulta en tétanos; la hipersecreción lleva a un deterioro extremo de los huesos y a fracturas.

WEB Actividad: Exercise: Chapter 9, Ionic Calcium Levels in the Blood.

4. Las glándulas adrenales

a. Las glándulas adrenales son glándulas emparejadas colocadas sobre los riñones. Cada glándula tiene dos partes endocrinas funcionales, la corteza y la médula.

b. Entre las hormonas de la corteza suprarrenal se encuentran:

(1) Los mineralocorticoides, especialmente aldosterona, regulan los iones de sodio (Na^+) y la reabsorción de potasio (K^+) por parte de los riñones. Su liberación está estimulada principalmente por bajos niveles de Na^+ y altos niveles de K^+ en la sangre.

(2) Los glucocorticoides preparan el cuerpo para resistir el estrés a largo plazo mediante el aumento de los niveles de glucosa en sangre y la reducción de la respuesta inflamatoria.

(3) Las hormonas sexuales (principalmente andrógenos) se producen en pequeñas cantidades a lo largo de la vida.

c. La hipoactividad generalizada de la corteza suprarrenal da como resultado la enfermedad de Addison. La hipersecreción puede dar como resultado el hiperaldosteronismo, la enfermedad de Cushing y la masculinización.

d. La médula suprarrenal produce catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) en respuesta a la estimulación del sistema nervioso simpático. Las catecolaminas mejoran y prolongan los efectos de la respuesta de "lucha o huida" (sistema nervioso simpático) al estrés a corto plazo. La hipersecreción lleva a síntomas típicos de la actividad excesiva del sistema nervioso simpático.

IP Endocrine System; Topic: Hormone Imbalances, págs. 4-5.

5. Islotes pancreáticos

a. Situado en el abdomen cerca del estómago, el páncreas es una glándula exocrina y endocrina. La parte endocrina (islotes) libera insulina y glucagón a la sangre.

b. La insulina se libera cuando los niveles en sangre de glucosa son altos. Aumenta el ritmo de consumo de glucosa y el metabolismo de las células corporales. La hiposecreción de la insulina da como resultado la diabetes *mellitus*, que perturba gravemente el metabolismo corporal. Los principales síntomas son la poliuria, la polidipsia y la polifagia.

c. El glucagón, liberado cuando los niveles de glucosa en sangre son bajos, estimula el hígado para que libere glucosa a la sangre, lo que aumenta los niveles de glucosa en la sangre.

IP Endocrine System; Topic: Hormone Imbalances,, pág. 2.

WEB Actividad: Chapter 9, Regulation of Blood Sugar Levels by Insulin and Glycogen.

6. La glándula pineal, situada detrás del tercer ventrículo del cerebro, libera melatonina, que afecta tanto al sueño como a los biorritmos y al comportamiento reproductivo en los animales.
7. La glándula timo, situada en la parte superior del tórax, funciona durante la juventud y se atrofia en la vejez. Su hormona, la timosina, favorece la maduración de linfocitos T.
8. Las gónadas
   a. Los ovarios de las mujeres liberan lo siguiente:
      (1) Estrógenos: la liberación de estrógenos por parte de los folículos de los ovarios comienza con la pubertad bajo la influencia de FSH. Los estrógenos estimulan la maduración de los órganos reproductivos femeninos y las características sexuales secundarias femeninas. Son responsables del ciclo menstrual junto con la progesterona.
      (2) Progesterona: la progesterona se libera de los ovarios como respuesta a altos niveles de LH en la sangre. Colabora con los estrógenos en la estabilización del ciclo menstrual.
   b. Los testículos del varón comienzan a producir testosterona en la pubertad como respuesta a la estimulación de LH. La testosterona favorece la maduración de los órganos reproductivos masculinos y las características secundarias sexuales de los varones, así como la producción de esperma por parte de los testículos.
   c. La hiposecreción de las hormonas gonadales resulta en esterilidad tanto en los varones como en las mujeres.

Otros tejidos y órganos que producen hormonas (pág. 332)

1. La placenta es un órgano temporal formado en el útero de las mujeres embarazadas. Su principal función endocrina consiste en producir estrógenos y progesterona, que mantiene el embarazo y los pechos preparados para la lactancia.
2. Varios órganos que son generalmente no endocrinos en su funcionamiento general, como el estómago, el intestino delgado, los riñones y el corazón, tienen células que segregan hormonas.
3. Algunas células cancerígenas segregan hormonas.

Formación y desarrollo del sistema endocrino (págs. 332, 335)

1. En ausencia de enfermedades, la eficiencia del sistema endocrino se mantiene alta hasta la vejez.
2. El empeoramiento del funcionamiento de los ovarios en la menopausia produce síntomas como osteoporosis, mayor riesgo de enfermedades coronarias y posibles cambios de humor.
3. La eficiencia de todas las glándulas endocrinas se reduce de forma gradual con el paso de los años, los que lleva a un aumento generalizado de problemas como la diabetes *mellitus*, depresión del sistema inmune, menor ritmo metabólico y, en algunas zonas, cáncer.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Los principales órganos endocrinos del organismo
   a. tienden a ser órganos muy grandes.
   b. están estrechamente conectados entre sí.
   c. todos contribuyen a la misma función (digestión).
   d. tienden a estar situados cerca de la línea media del organismo.
2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre las hormonas es verdadera?
   a. Las glándulas exocrinas las producen.
   b. Viajan por el organismo en la sangre.
   c. Afectan sólo a los órganos que no producen hormonas.
   d. Todas las hormonas esteroides producen efectos fisiológicos muy similares en el organismo.
3. ¿Cuál de las siguientes hormonas segregan las neuronas?
   a. Oxitocina. c. ADH.
   b. Insulina. d. Cortisol.
4. ANP, la hormona segregada por el corazón, tiene exactamente la función opuesta a esta hormona segregada por la zona más exterior de la corteza suprarrenal.
   a. Adrenalina. c. Aldosterona.
   b. Cortisol. d. Testosterona.
5. ¿Cuál de las siguientes hormonas actúa directamente o indirectamente para elevar la glucosa en sangre?
   a. GH. c. Insulina.
   b. Cortisol. d. ACTH.
6. La hipertensión puede resultar de la hiposecreción de
   a. tiroxina. c. aldosterona.
   b. cortisol. d. ADH.
7. Entre las hormonas que regulan los niveles de sales minerales se encuentran la
   a. calcitonina. c. péptido natriurético auricular.
   b. aldosterona. d. glucagón.
8. ¿Cuál de las siguientes se administra como un fármaco para reducir la inflamación?
   a. Adrenalina. c. Aldosterona.
   b. Cortisol. d. ADH.

9. El elemento necesario para el funcionamiento de la glándula tiroides es

   a. potasio.
   b. yodina.
   c. calcio.
   d. magnesio.

Respuesta breve

10. Explica en qué se diferencian los sistemas nervioso y endocrino en relación con **(a)** su grado de control, **(b)** el modo en que se comunican con las células corporales y **(c)** los tipos de procesos corporales que controlan.

11. ¿Que órganos endocrinos son realmente glándulas mixtas (endocrinas y exocrinas)? ¿Cuáles son puramente endocrinos?

12. Describe la naturaleza química de las hormonas.

13. Proporciona un ejemplo de cada forma en que las glándulas se estimulan para liberar hormonas.

14. Define *retroalimentación negativa* y explica cómo regula los niveles en sangre de las diversas hormonas.

15. Explica por qué no todos los órganos son órganos blanco para todas las hormonas.

16. Describe la ubicación corporal de cada uno de los siguientes órganos endocrinos: la hipófisis anterior, la glándula pineal, el timo, el páncreas, los ovarios, los testículos. Después, para cada órgano, nombra sus hormonas y sus efectos en los procesos corporales. Finalmente, para cada hormona, cita los resultados más destacables de la hiposecreción e hipersecreción.

17. Nombra dos glándulas productoras de endocrinas (o regiones) que sean importantes en la respuesta al estrés y explica *por qué* son importantes.

18. La hipófisis anterior a menudo se conoce como la glándula endocrina maestra, pero ella también tiene un/a "maestro/a". ¿Qué controla la liberación de hormonas por parte de la hipófisis anterior?

19. ¿Cuál es la causa más común de hipersecreción de los órganos endocrinos?

20. Cita tres antagonistas hormonales de la insulina y uno de PTH.

21. Dos hormonas están estrechamente relacionadas con la regulación del equilibrio de fluidos y de electrolitos del organismo. Cítalas y explica los efectos de su órgano diana común.

22. ¿Qué produce el bocio?

23. En general, el sistema endocrino se vuelve menos eficiente a medida que envejecemos. Cita algunos ejemplos de problemas que tienen las personas mayores como resultado del descenso en la producción de hormonas.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

24. Una mujer con pelo corporal excesivo y una voz profunda muestra los síntomas exteriores de una disfunción hormonal. ¿De cuál se trata?

25. Los padres de una niña de 14 años están preocupados por su altura porque mide sólo 1,20 m y ellos dos miden cerca de 1,80 m. Después de que el doctor le realizara unas pruebas, se le prescriben algunas hormonas a la niña. ¿Cuál es el diagnóstico probable? ¿Qué hormonas se le prescriben y por qué puede tener esperanzas la niña de alcanzar una estatura normal?

26. Paula, de 28 años de edad, lleva 15 horas en la primera fase del parto. Sus contracciones uterinas son débiles y el parto no está progresando de forma normal. Paula y su doctor desean un parto vaginal, de forma que el médico ordena que se le inyecte pitocina (una oxitocina sintética). ¿Cuál es el efecto de esta hormona?

27. El señor Rodríguez lleva a su mujer a la clínica preocupado por su estado de nerviosismo, las palpitaciones y el sudor excesivo. Las pruebas muestran hiperglucemia e hipertensión. ¿Qué hormonas se están hiposegregando probablemente? ¿A qué se debe? ¿Qué factores físicos nos permiten descartar problemas de tiroides?

28. ¿Cuáles son los posibles efectos dañinos derivados del uso de esteroides anabólicos para aumentar la masa y la fuerza muscular?

29. Berta González, de 40 años, acude a la clínica preocupada por el sudor en la cara y una inusual deposición de grasa en la espalda y el abdomen. Dice que le salen moretones fácilmente. Las pruebas sanguíneas muestran unos elevados niveles de glucosa en sangre. ¿Cuál es tu diagnóstico y qué glándulas pueden estar causando el problema?

30. Mariana, una vagabunda, está embarazada. No ha tenido ningún cuidado prenatal y su dieta se compone de lo que encuentra en los cubos de basura. ¿Qué podrías suponer acerca de los niveles de PTH de su sangre?

31. Ricardo presentaba síntomas de secreción excesiva de PTH (altos niveles de calcio en sangre) y los médicos estaban seguros de que tenía un tumor en la glándula paratiroides. Sin embargo, cuando le operaron en el cuello, el cirujano no pudo encontrar la glándula paratiroides. ¿Dónde debería buscar el cirujano la glándula paratiroides tumoral?

CAPÍTULO 10

La sangre

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, tendrás un conocimiento práctico de las funciones de la sangre y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- La sangre distribuye el calor corporal y transporta nutrientes, gases respiratorios y otras sustancias por todo el organismo.

NUESTROS OBJETIVOS

Composición y funciones de la sangre (págs. 340-349)

- Describir la composición y el volumen de la sangre.
- Describir la composición del plasma y comprender su importancia en el organismo.
- Enumerar los tipos de células que forman los elementos figurados de la sangre y describir las principales funciones de cada tipo.
- Definir *anemia, policitemia, leucopenia* y *leucocitosis,* así como enumerar las posibles causas de cada enfermedad.
- Explicar la función del hemocitoblasto.

Hemostasis (págs. 349-351)

- Describir el proceso de coagulación de la sangre.
- Nombrar algunos factores que pueden impedir o permitir la coagulación de la sangre.

Grupos sanguíneos y transfusiones (págs. 351-354)

- Describir los grupos sanguíneos ABO y Rh.
- Explicar las bases para una reacción a la transfusión.

Formación y desarrollo de la sangre (págs. 354, 356)

- Explicar las bases de la ictericia fisiológica de algunos recién nacidos.
- Indicar trastornos sanguíneos cuya frecuencia aumenta en las personas mayores.

La **sangre** es el "río de la vida" que fluye dentro de nosotros. Transporta todo lo que debe llevarse de un lugar a otro del organismo: nutrientes, desechos (lo que es eliminado por el organismo) y el calor corporal, a través de los vasos sanguíneos. Mucho antes de la medicina moderna, se consideraba que la sangre era mágica, ya que cuando salía del cuerpo, se llevaba la vida con ella.

En este capítulo, tratamos la composición y las funciones de este fluido esencial para la vida. En el Capítulo 11 se explican los medios por los que es propulsada por todo el organismo.

Composición y funciones de la sangre

Componentes

La sangre es única: constituye el único tejido *líquido* en todo el organismo. Aunque puede parecer que la sangre es un líquido espeso y homogéneo, el microscopio nos muestra que está formada por componentes tanto sólidos como líquidos. En esencia, la sangre es un tejido conectivo complejo en el que las células sanguíneas vivas, los **elementos figurados,** están suspendidas en una matriz líquida inerte llamada **plasma.** El colágeno y la elastina, fibras típicas de otros tejidos conectivos, no están presentes en la sangre, pero proteínas disueltas se hacen visibles como hebras de fibrina durante el proceso de coagulación

Si una muestra de sangre es metida en una centrifugadora, los elementos figurados, al ser más pesados se colocan en la parte inferior debido a la fuerza centrífuga y el plasma asciende a la parte superior (Figura 10.1). La mayor parte de la masa roja del fondo del tubo está compuesta por los *eritrocitos,* o glóbulos rojos, elementos figurados que se encargan del trasporte del oxígeno. A pesar de que es casi imperceptible para la vista en la Figura 10.1, existe una capa delgada y blanquecina llamada **capa leucocitaria** en la intersección entre los eritrocitos y el plasma. Esta capa contiene el resto de los elementos figurados, los *leucocitos,* que son los glóbulos blancos que actúan en diferentes aspectos para proteger el organismo, y las *plaquetas,* que son fragmentos celulares que ayudan a detener las hemorragias. Los eritrocitos normalmente representan alrededor del 45% del volumen total de una muestra de sangre, un porcentaje conocido como **hematocrito** ("muestra sanguínea"). Los glóbulos blancos y las plaquetas representan menos del 1%, y el plasma compone la mayor parte del 55% restante del total de la sangre.

Características físicas y volumen

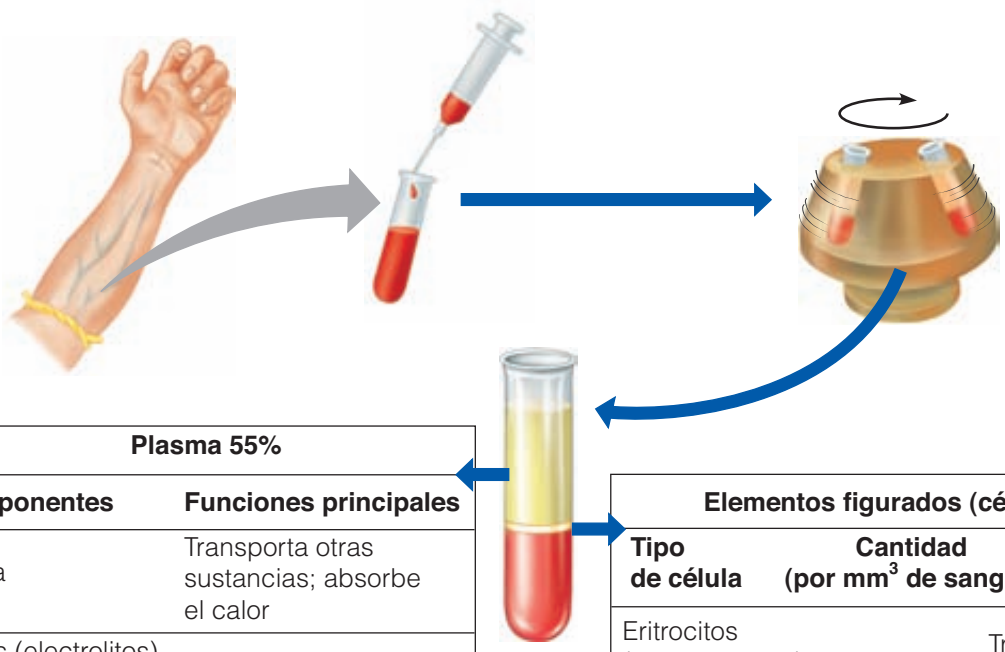
La sangre es un fluido pegajoso y opaco con un sabor característicamente metálico. Cuando somos niños, descubrimos su gusto salado al llevarnos a la boca el dedo en el que acabamos de hacernos un corte. Dependiendo de la cantidad de oxígeno que la sangre transporte, el color de ésta varía del color escarlata (abundante oxígeno) al rojo apagado. La sangre es más pesada que el agua, y unas cinco veces más espesa, o más viscosa, en gran parte debido a sus elementos figurados. La sangre es ligeramente alcalina, con un pH de entre 7,35 y 7,45. Su temperatura (38° C) está siempre ligeramente más elevada que el resto de la temperatura corporal.

La sangre representa aproximadamente el 8% del peso total del cuerpo, y su volumen en personas sanas es de 5 a 6 litros.

Plasma

El plasma, que está formado en un 90% por agua, es la parte líquida de la sangre. Más de cien sustancias diferentes están disueltas en este fluido del color de la paja. Nutrientes, sales (electrolitos), gases respiratorios, hormonas, proteínas plasmáticas, y diferentes desechos y productos derivados del metabolismo celular son algunos ejemplos de las sustancias que están disueltas en la sangre.

P *¿Cómo afectaría al volumen del plasma un aumento de la cantidad de proteínas plasmáticas?*



Plasma 55%

Componentes	Funciones principales
Agua	Transporta otras sustancias; absorbe el calor
Sales (electrolitos) Sodio Potasio Calcio Magnesio Cloruros Bicarbonato	Equilibrio osmótico, regulación del pH, regulación de la permeabilidad de la membrana
Proteínas plasmáticas Albumina Fibrinógeno Globulina	 Equilibrio osmótico, regulación del pH Coagulación de la sangre Defensa (anticuerpos) y transporte de lípidos
Sustancias transportadas por la sangre Nutrientes (glucosa, ácidos grasos, aminoácidos, vitaminas) Productos de deshecho del metabolismo (orina, ácido úrico) Gases respiratorios (O_2 y CO_2) Hormonas	

Elementos figurados (células) 45%

Tipo de célula	Cantidad (por mm^3 de sangre)	Funciones
Eritrocitos (glóbulos rojos)	4-6 millones	Trasporte de oxígeno y contribuye al transporte de dióxido de carbono
Leucocitos (glóbulos blancos)	4.000-11.000	Defensa e inmunidad
Basófilo		
Eosinófilo		Linfocito
Neutrófilo		Monocito
Plaquetas	250.000-500.000	Coagulación de la sangre

FIGURA 10.1 **La composición de la sangre.**

R *Las proteínas plasmáticas crean la presión osmótica necesaria para mantener el volumen del plasma y absorbe las fugas de fluido y las devuelve a la circulación. Además, a una disminución de la cantidad de proteínas plasmáticas podría resultar en una reducción del volumen total del plasma.*

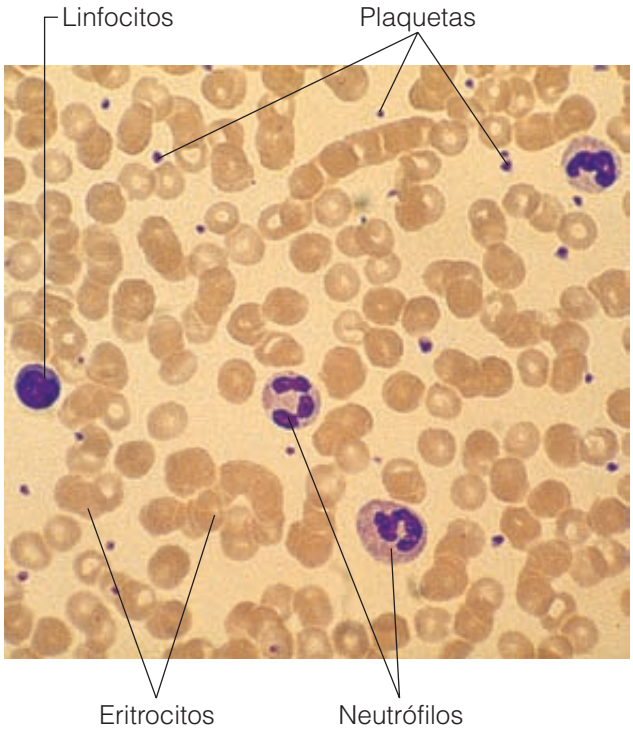


FIGURA 10.2 Fotomicrografía de una muestra de sangre. La mayoría de las células de esta imagen son eritrocitos (glóbulos rojos). También están presentes dos tipos de leucocitos (células blancas): linfocitos y neutrófilos, así como las plaquetas.

Las *proteínas plasmáticas* son los solutos más abundantes en el plasma. Exceptuando los anticuerpos y las hormonas proteicas, la mayor parte del plasma se produce en el hígado. Las proteínas plasmáticas desempeñan diferentes funciones. Por ejemplo, la **albúmina** transporta algunas moléculas en la circulación sanguínea, es un importante regulador sanguíneo, y contribuye a la presión osmótica de la sangre, que a su vez es utilizada para mantener el agua en el torrente sanguíneo. La coagulación de la sangre ayuda a detener la pérdida de sangre cuando se daña un vaso sanguíneo, y los anticuerpos ayudan a proteger al cuerpo de los patógenos. Las proteínas plasmáticas no son absorbidas por las células para ser utilizadas como combustible alimenticio o nutriente para el metabolismo, al igual que otros solutos como la glucosa, los ácidos grasos y el oxígeno.

La composición del plasma varía continuamente a medida que las células desechan o añaden sustancias a la sangre. A pesar de que una persona se alimente adecuadamente, la composición del plasma se mantiene relativamente constante por varios mecanismos homeostáticos del organismo. Por ejemplo, cuando la cantidad de proteínas sanguíneas desciende a niveles indeseados, se estimula el hígado para que fabrique más proteínas, y cuando la sangre comienza a adquirir unos niveles demasiado ácidos *(acidosis)* o demasiado básicos *(alcalosis),* tanto el sistema respiratorio como los riñones se ponen en marcha hasta restablecer un nivel normal: un pH ligeramente alcalino, entre 7,35 y 7,45. Diversos órganos del cuerpo llevan a cabo docenas de modificaciones día tras día para mantener los numerosos solutos del plasma en un nivel saludable. Junto con el trasporte de las diferentes sustancias en todo el cuerpo, el plasma ayuda a distribuir el calor corporal, como subproducto del metabolismo celular, de forma uniforme por todo el organismo.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Qué órgano desempeña un papel principal en la producción de las proteínas de la sangre?
2. ¿Cuáles son las tres categorías principales de los elementos figurados?
3. ¿Qué determina el hecho de que la sangre tenga color rojo apagado o rojo escarlata (brillante)?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Elementos figurados

Si observas una muestra de sangre humana a la luz de un microscopio, podrás observar los glóbulos rojos discoidales, numerosos glóbulos blancos de forma esférica, y algunas plaquetas color escarlata que parecen despojos (Figura 10.2). Sin embargo, los eritrocitos superan en cantidad con diferencia a otros tipos de elementos figurados. La Tabla 10.2 de la pág. 346 proporciona un resumen de las características más importantes de los diferentes elementos figurados.

Eritrocitos

Los **eritrocitos,** o **glóbulos rojos (RBC),** tienen como función principal transportar el oxígeno en la sangre a todas las células del cuerpo. Conforman un buen ejemplo de "ajuste" entre la estructura celular y la función. Los RBC se diferencian de otras células en que son anucleares, es decir, que no tienen núcleo. También contienen muy pocos orgánulos. De hecho, los RBC maduros que circulan en la sangre son literalmente "bolsas" de moléculas de hemoglobina. La **hemoglobina (Hb),** una proteína recubierta de hierro, transporta la mayor parte del oxígeno de la sangre (también aporta una pequeña cantidad de dióxido de carbono). Además, como consecuencia de la ausencia de mitocondrias en los eritrocitos y como fabrican ATP a través de mecanismos

anaeróbicos, éstos no utilizan el oxígeno que están transportando, lo que les convierte en unos transportadores de oxígenos muy eficaces.

Los eritrocitos son células pequeñas y flexibles con forma de disco bicóncavo (disco aplanado con el centro hundido en ambas caras, como se muestra en la Figura 10.2). Como consecuencia de sus centros más finos, tienen la apariencia de donuts en miniatura cuando se los observa con un microscopio. Su pequeño tamaño y su forma peculiar proporcionar una gran superficie en relación con su volumen, lo cual los hace perfectos para el intercambio de gases.

Los RBC superan en número a los glóbulos blancos en alrededor de mil unidades y constituyen el principal factor de la viscosidad de la sangre. A pesar de que la cantidad de RBC en la circulación varía, normalmente hay alrededor de cinco millones de células por milímetro cúbico de sangre (1 mm^3 es una muestra muy pequeña de sangre que casi no puede percibirse con la vista). Cuando la cantidad de RBC/mm^3 aumenta, la viscosidad aumenta también. De forma similar, a medida que el número de RBC disminuye, la sangre se vuelve menos espesa y fluye más rápidamente. Sin embargo, no nos distanciemos del tema tratando la *cantidad* de RBC. A pesar de que esta cantidad es muy importante, es la cantidad de hemoglobina en el torrente sanguíneo en cualquier momento lo que determina si los eritrocitos están cumpliendo su función de transportadores de oxígeno.

Cuantas más moléculas de hemoglobina contengan los RBC, más oxigeno podrán transportar. Quizás, la forma más precisa de medir la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre sea determinar cuánta hemoglobina contiene. Un glóbulo rojo contiene alrededor de 250 millones de moléculas de hemoglobina, cada una de las cuales puede llevar cuatro moléculas de oxígeno, por lo que cada una de estas células diminutas puede transportar ¡cerca de mil millones de moléculas de oxígeno! Esta información es asombrosa, pero no muy útil. Clínicamente, es mucho más importante el hecho de que normalmente la sangre contiene entre 12 y 18 g de hemoglobina por cada 100 mililitros de sangre. La cantidad de hemoglobina en los hombres es ligeramente mayor (13-18 g/ml) que en las mujeres 812-16 g/ml).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La disminución de la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre, sea cual sea la causa, es denominada **anemia** (falta de sangre). La anemia puede ser el resultado de una *cantidad* insuficiente de glóbulos rojos o de hemoglobina en los glóbulos rojos. En la Tabla 10.1 se clasifican y describen brevemente los diferentes tipos de anemia, pero uno de ellos, la anemia falciforme, requiere un poco más atención como consecuencia del efecto causado en las personas que sufren este trastorno genético.

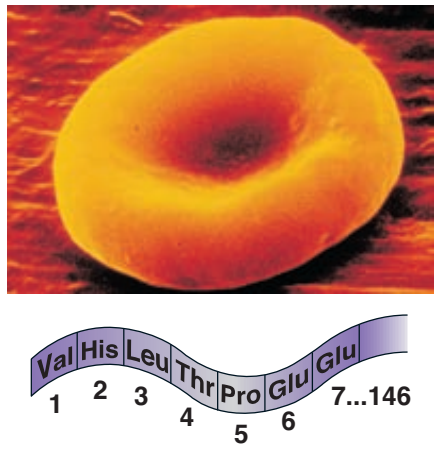


FIGURA 10.3 **Comparación de (a) un eritrocito normal y (b) eritrocito en forma de hoz (6.700×).**

En la **anemia falciforme,** la hemoglobina anormal se vuelve abrupta y afilada (Figura 10.3b) cuando los glóbulos rojos no reciben moléculas de oxígeno o cuando la cantidad de oxígeno en la sangre es inferior a la normal, como resultado de la realización de ejercicio intenso, ansiedad u otras situaciones extresantes. Los eritrocitos inertes y deformados se rompen con facilidad y dañan los vasos sanguíneos pequeños. Estos eventos interfieren en el trasporte de oxígeno y causan un dolor intenso. ¡Es sorprendente que estos resultados devastadores resulten del cambio de uno solo de los aminoácidos de dos de las cuatro cadenas de polipéptidos de la molécula de hemoglobina!

TABLA 10.1 Tipos de anemia

Causa directa	Como consecuencia de	Provoca
Disminución del número de glóbulos rojos	Hemorragia repentina	Anemia hemorrágica
	Lisis de glóbulos rojos como resultado de infecciones bacterianas	Anemia hemolítica
	Falta de vitamina B_{12} (normalmente debido a la falta del factor intrínseco requerido para la absorción de la vitamina; el factor intrínseco se forma en la mucosa de las células del estómago)	Anemia perniciosa
	Disminución o destrucción de la médula ósea por el cáncer, la radiación o algunos medicamentos	Anemia aplásica
Contenido inadecuado de hemoglobina en los glóbulos rojos	Falta de hierro en la dieta o hemorragia lenta o prolongada (como un flujo menstrual escesivo o una úlcera sangrante), que agota las reservas de hierro para fabricar la hemoglobina; los globulos rojos son más pequeños y claros por la falta de hemoglobina	Anemia ferropénica
Hemoglobina anormal en los glóbulos rojos	Un defecto genético puede conllevar la fabricación de hemoglobina anormal, que forma células con forma de hoz y afiladas utilizando grandes cantidades de oxígeno; se produce mayoritariamente en personas africanas	Anemia falciforme

La anemia falciforme aparece principalmente en personas negras que viven en la zona de la malaria de África y en sus descendientes. Aparentemente, el mismo gen que la provoca, hace que los glóbulos rojos infectados por el parásito de la malaria se adhieran a las paredes capilares y pierdan el potasio, que es un nutriente imprescindible para que el parásito sobreviva. Así se evita que el parásito se multiplique dentro de los RBC, y las personas con el gen de las células falciformes tiene más posibilidades de sobrevivir en áreas de malaria. Sólo quienes portan dos copias con el gen defectuoso presentan anemia falciforme. Quienes sólo tienen un gen falciforme tienen un **fenotipo falciforme.** Por lo general, no desarrollan los síntomas de la enfermedad pero pueden trasmitir el gen de la anemia falciforme a sus hijos.

El aumento anormal o excesivo del número de eritrocitos se conoce como **policitemia.** La policitemia puede resultar del cáncer de médula espinal *(policitemia vera),* aunque también puede ser la respuesta fisiológica normal al hecho de vivir en zonas altas, donde el aire es más seco y hay menos oxígeno disponible *(policitemia secundaria).* El principal problema de la sobreproducción de glóbulos rojos es el aumento de la viscosidad de la sangre, lo que provoca que ésta fluya lentamente por el cuerpo e impida la circulación. ▲

Leucocitos

A pesar de que los **leucocitos,** o **glóbulos blancos (WBC),** no son tan numerosos como los glóbulos rojos, son esenciales para la defensa del organismo contra las enfermedades. De media, existen entre 4.000 y 11.000 glóbulos blancos por mm^3, y representan menos del 1% del volumen total del organismo. Los glóbulos blancos son las únicas células completas de la sangre, es decir que contienen núcleo y orgánulos.

Los leucocitos forman un ejército protector y móvil que ayuda al organismo contra los daños causados por bacterias, virus, parásitos y células cancerígenas. Por lo tanto, tienen unas características muy especiales. Los glóbulos rojos se encuentran en el torrente sanguíneo y desempeñan sus funciones en la sangre. Los glóbulos blancos, por el contrario, son capaces de salir y entrar en los vasos sanguíneos, en un proceso llamado **diapédesis.** El sistema circulatorio constituye simplemente el medio de transporte a las diferentes zonas del cuerpo donde se necesitan sus servicios para respuestas inflamatorias o inmunológicas (tal y como se describe en el Capítulo 12).

Además, los glóbulos blancos pueden localizar zonas de tejido dañado o infecciones en el organismo al responder a ciertos agentes químicos que se propagan desde las células dañadas. Esta capacidad se llama **quimiotaxis positiva.** Una vez que han detectado este fenómeno, los glóbulos blancos se desplazan a través de los tejidos con un **movimiento ameboide** (forman extensiones citomplasmáticas móviles que les ayudan a desplazarse). Por el subsiguiente gradiente de difusión, localizan con precisión las zonas de tejido dañado y defienden el área en gran números para destruir los microorganismos y disponer de las células muertas.

En el momento en que los glóbulos blancos se movilizan para actuar, el organismo acelera su producción y hasta el doble del número normal de glóbulos blancos pueden aparecer en la sangre en pocas horas. Un total de glóbulos blancos superior a 11.000 células/mm^3 se conoce como **leucocitosis.** La leucocitosis normalmente indica que una infección viral o bacteriana está teniendo lugar en el cuerpo. La enfermedad contraria, la **leucopenia,** es un nivel de glóbulos blancos muy bajo. Esta causada principalmente por algunos medicamentos, como los corticosteroides y los agentes anticancerígenos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La leucocitosis es una respuesta normal y conveniente a las amenazas infecciosas del organismo. Por el contrario, la producción excesiva de glóbulos blancos que se lleva a cabo en casos de mononucleosis infecciosa y leucemia presenta una patología diferente. En la **leucemia,** cuyo significado es sangre blanca, la médula espinal se vuelve cancerígena, y produce rápidamente un número enorme de glóbulos blancos. A pesar de que esto puede no representar un problema, los recién nacidos no son capaces de utilizar sus funciones protectoras de forma normal. Como consecuencia, el cuerpo se convierte en una presa fácil para bacterias y virus. Además, como resultado de otras líneas celulares desbordadas, pueden derivarse anemia severa y problemas hemorrágicos. ▲

Los glóbulos blancos se clasifican en dos grupos principales, granulocitos y agranulocitos, dependiendo de si contienen gránulos visibles o no en el citoplasma. Las características específicas de los leucocitos se enumeran en la Tabla 10.2. En la Figura 10.1 se pueden ver imágenes microscópicas.

Los **granulocitos** son los glóbulos blancos que contienen gránulos. Tienen núcleos lobulados, que normalmente están formados por varias zonas nucleares redondeadas conectadas por finas hebras de material nuclear. Los gránulos del citoplasma se tiñen específicamente con la técnica de Wright. Los granulocitos incluyen los neutrófilos, los eosinófilos y los basófilos.

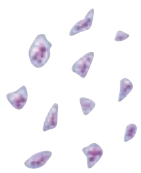
1. Los **neutrófilos** son los más numerosos de los glóbulos blancos. Presentan un núcleo lobular y pequeños gránulos que responden tanto a los colorantes ácidos como a los básicos, lo cual hace que el citoplasma de tiña completamente de rosa. Los neutrófilos son fagocitos en los lugares donde se da una infección grave, en particular la causada por bacterias y hongos.
2. Los **eosinófilos** presentan un núcleo azulgrana que se asemeja a los antiguos receptores telefónicos y unos gránulos rojo oscuro parecidos a los lisosomas. El número total aumenta durante las alergias o las infecciones por gusanos parásitos (platelmintos, tenia, etc.) ingeridos en la comida o que han accedido al organismo por la piel.
3. Los **basófilos,** los glóbulos blancos menos comunes, contienen unos gránulos muy grandes con histamina que se tiñen de azul oscuro. La **histamina** es un agente químico inflamable que aumenta la permeabilidad y atrae a otros glóbulos blancos al lugar de la infección.

El segundo grupo de glóbulos blancos, los **agranulocitos,** carecen de gránulos visibles en el citoplasma. Sus núcleos son más parecidos al modelo normal, es decir que son esféricos, ovales o reniformes. Los agranulocitos son los linfocitos y los monocitos.

1. Los **linfocitos** contienen un núcleo púrpura que ocupa la mayor parte del volumen celular. Los linfocitos, ligeramente más grandes que los glóbulos rojos, tienden a localizarse en los tejidos linfáticos, donde desempeñan un papel esencial en la respuesta inmunitaria. Los linfocitos son los segundos leucocitos más numerosos de la sangre.
2. Los **monocitos** son los globulos blancos más grandes de todas. Parecen linfocitos grandes, excepto por su abundante citoplasma y su núcleo reniforme o en forma de U. Cuando pasan a los tejidos, se convierten en macrófagos con un enorme apetito. Los macrófagos son muy importantes en la lucha contra las infecciones crónicas, tales como la tuberculosis.

Con frecuencia se pide a los estudiantes que enumeren los glóbulos blancos por orden de abundancia en la sangre, de mayor a menor. La siguiente frase mnemotécnica puede ayudarte para esta tarea: **n**unca **l**a **m**entira **e**s **b**uena (neutrófilos, linfocitos, monocitos, eosinófilos, basófilos).

TABLA 10.2 Características de los elementos figurados de la sangre

Tipo de célula	Cantidad en sangre (por mm^3)	Anatomía celular*	Función
ERITROCITOS (glóbulos rojos)	4-6 millones	Discos bicóncavos de color salmón; sin núcleo; literalmente, sacos de hemoglobina; la mayoría de los orgánulos han sido expulsados	Transportan oxígeno en las moléculas de hemoglobina; también transportan pequeñas cantidades de dióxido de carbono
LEUCOCITOS (glóbulos blancos)	4.000-11.000		
Granulocitos			
• Neutrófilos	3.000-7.000 (40%-70% de glóbulos blancos)	Manchas de color rosa palo en el citoplasma que contienen pequeños gránulos, que son difíciles de ver; el núcleo, de color púrpura, consta de tres a siete lóbulos conectados por hebras finas del nucleoplasma	Fagocitos activos; la cantidad total aumenta rápidamente en caso de infecciones
• Eosinófilos	100-400 (1%-4% de glóbulos blancos)	Gránulos citoplasmáticos de color rojo intenso; núcleo bilobular azulgrana	Eliminan los parásitos con enzimas digestivas; aumentan en los ataques de alergia; pueden pagocitar complejos antígeno-anticuerpo e inactivar algunos químicos inflamatorios
• Basófilos	20-50 (0%-1% de glóbulos blancos)	El citoplasma tiene algunos gránulos grandes azul purpúreo; núcleos azules con forma de U o de S	Liberan histamina (vasodilatador químico) en zonas con inflamación; contienen heparina y anticoagulante
Agranulocitos			
• Linfocitos	1.500-3.000 (20%-45% de glóbulos rojos)	El citoplasma es azul claro y aparece como un anillo fino alrededor del núcleo; núcleo esférico azul oscuro	Forman parte del sistema inmunitario; un grupo (linfocitos B) produce anticuerpos; otro grupo (linfocitos T) involucrado en el rechazo de injerto, lucha contra los tumores y los virus, atacando directamente a la célula
• Monocitos	100-700 (4%-8% de glóbulos blancos)	Abundante citoplasma azulgrisáceo a menudo reniforme	Fagocitos activos que se convierten en macrófagos en los tejidos; "equipos de limpieza" a largo plazo; aumentan en número durante infecciones crónicas como la tuberculosis
PLAQUETAS 	150.000-500.000	Fragmentos celulares con formas irregulares; color púrpura.	Son necesarias para la coagulación normal de la sangre; ayuda a controlar la pérdida de sangre en los vasos sanguíneos rotos.

*Apariencia según la prueba de Wright.

Plaquetas

Las **plaquetas** no son células en el sentido más estricto de la palabra. Son fragmentos de células multinucleares llamadas **megacariocitos,** que al descomponerse forman miles de plaquetas sin núcleo que enseguida se sumergen en los fluidos colindantes. Las plaquetas son manchas oscuras de formas irregulares. La cantidad normal de plaquetas en sangre es de 300.000/mm^3. Como se indica en la la Tabla 10.2, las plaquetas son necesarias para el proceso de coagulación que se lleva a cabo en el plasma en caso de que los vasos sanguíneos se dañen o rompan (este proceso se explica en las páginas 349-350).

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. ¿Cuál es la función de la hemoglobina en los glóbulos rojos?
5. ¿Cuáles son los glóbulos blancos más importantes para la inmunidad del organismo?
6. Si tuvieses una infección, ¿los glóbulos blancos de tu organismo estarían más cerca de los 5.000, de los 10.000 o de los 15.000/mm^3?
7. La pequeña Laura está pálida y apática. ¿Qué trastorno de eritrocitos puede padecer?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

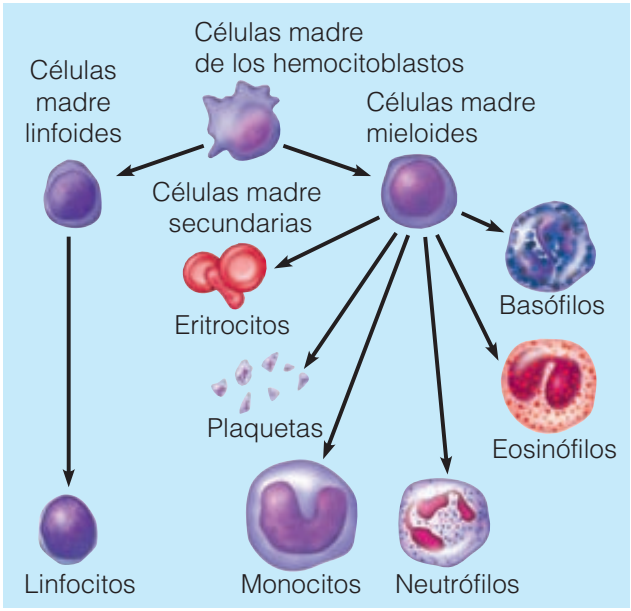


FIGURA 10.4 El desarrollo de las células de la sangre. Todas las células se diferencian de los hemocitoblastos de las células madre de la médula ósea. Las células madres se renuevan por mitosis. Algunas de estas células hija se convierten en células madre linfoides que más tarde se desarrollan en dos tipos de linfocitos que desempeñan su función para la misma respuesta. Todas las demás células de la sangre se diferencian de las células madre mieloides.

Hematopoyesis (formación de las células de la sangre)

La formación de las células de la sangre, o **hematopoyesis,** se lleva a cabo en la médula ósea o el tejido *mieloide.* En adultos, este tejido se encuentra en mayor cantidad en los huesos planos del cráneo y la pelvis, las costillas, el esternón y la epífisis del húmero y el fémur. Cada tipo de célula sanguínea se produce en diferentes cantidades en respuesta a las necesidades cambiantes del cuerpo y los distintos estímulos. Una vez que han madurado, las células se liberan a los vasos sanguíneos colindantes. De media, la médula ósea fabrica cada día alrededor de 30 g de sangre, lo que contiene 100 mil millones de nuevas células.

Todos los elementos figurados se producen a partir del mismo tipo de *célula madre,* el **hemocitoblasto,** que se encuentra en la médula ósea. Sin embargo, su desarrollo es diferente y no puede cambiar su naturaleza una vez que ha comenzado un camino específico. Como se indica en la Figura 10.4 los hemocitoblastos forman dos tipos de descendientes (las *células madre linfoides,* que producen linfocitos y las *células madre mieloides,* que pueden producir cualquiera de los otros tipos de elementos figurados.

Formación de glóbulos rojos

Los glóbulos rojos no tienen núcleo, por lo que son incapaces de sintetizar proteínas, aumentarlas o dividirlas. A medida que envejecen, los glóbulos rojos se hacen más rígidos y empiezan a fragmentarse o desprenderse en 100 ó 120 días. Los restos son eliminados por los fagocitos en el bazo, hígado y otros tejidos. Las células que se van perdiendo son reemplazadas de forma más o menos continua por la división de hemocitoblastos de la médula ósea. Los glóbulos rojos en desarrollo se dividen varias veces hasta que comienzan a sintetizar grandes cantidades de hemoglobina. Cuando se ha almacenado suficiente hemoglobina, los núcleos y la mayoría de los orgánulos son expulsados y la célula se colapsa desde el interior. El resultado es un glóbulo rojo inmaduro, llamado *reticulocito* porque contiene un poco de retículo endoplásmico rugoso. Los reticulocitos se adentran en el torrente sanguíneo para desempeñar su función de transportar

P *¿Porqué muchas personas con enfermedad renal avanzada desarrollan anemia?*

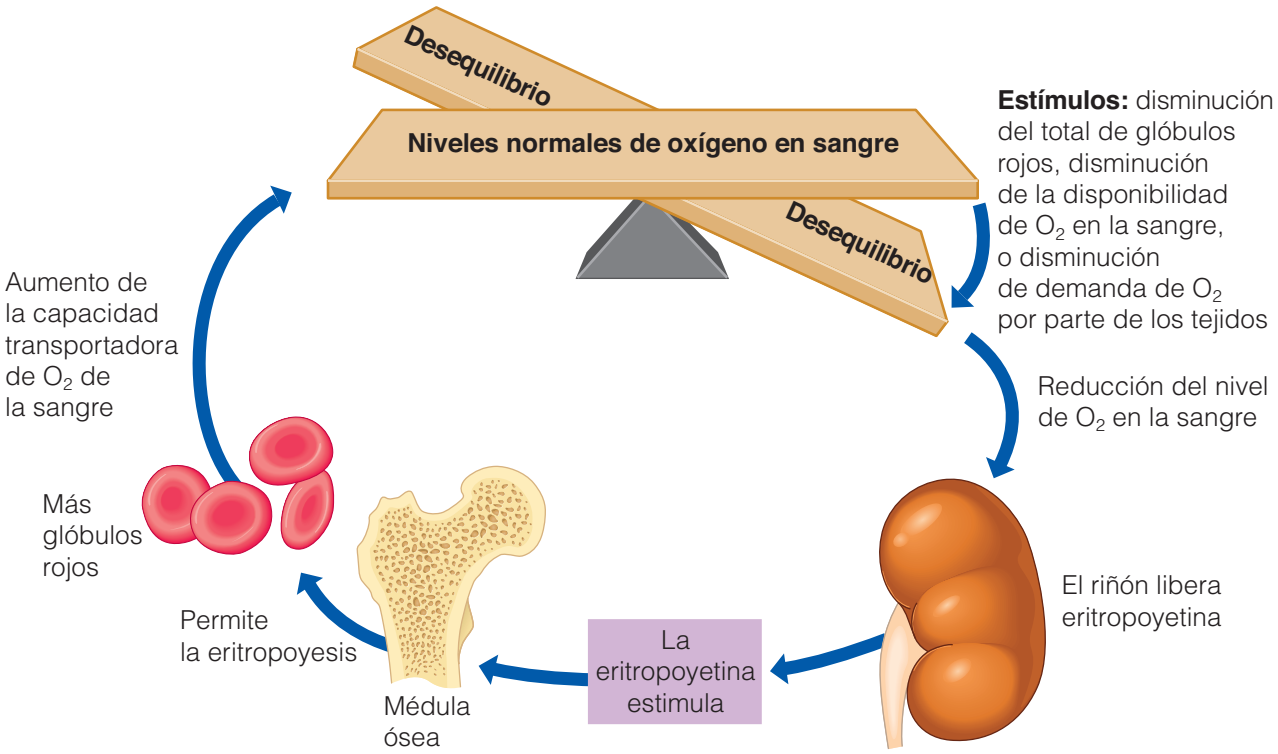


FIGURA 10.5 Mecanismo de regulación del nivel de producción de glóbulos rojos. Cuando los niveles de oxígeno en sangre son inadecuados para soportar la actividad celular normal, sea cual sea la causa, los riñones liberan más eritropoyetina. El aumento de eritropoyetina estimula la producción de glóbulos rojos en la médula ósea.

oxígeno. A los dos días de liberación, ya han expulsado los retículos endoplásmicos restantes y se han convertido en eritrocitos activos. El proceso de desarrollo completo de hemocitoblasto a glóbulo rojo maduro tarda de tres a cinco días.

El nivel de producción de eritrocitos está controlado por una hormona que se llama **eritropoyetina.** Normalmente, una pequeña cantidad de eritropoyetina circula en la sangre todo el tiempo, y los glóbulos rojos se fabrican a un ritmo constante. A pesar de que el hígado fabrique una pequeña cantidad, los riñones desempeñan el papel principal en la producción de esta hormona. Cuando los niveles de oxígeno en la sangre empiezan a disminuir por cualquier razón, los riñones aceleran la liberación de eritropoyetina (Figura 10.5). La eritropoyetina tiene como objetivo la médula ósea, estimulándola para que fabrique más glóbulos rojos. Como puedes imaginar, la abundancia de eritrocitos, o una excesiva cantidad de oxígeno en la sangre, hace que la producción de glóbulos rojos disminuya. Es muy importante recordar que la producción de glóbulos rojos no está controlada por el número relativo de glóbulos rojos en la sangre. Este control se basa en la capacidad de transportar el oxígeno suficiente para satisfacer la demanda del organismo en cada momento.

R *Porque el riñón produce la mayor parte de las eritropoyetinas que estimulan la producción de lo glóbulos rojos en la médula ósea.*

Formación de glóbulos blancos y plaquetas

Al igual que en la producción de glóbulos rojos, la formación de los leucocitos y las plaquetas es estimulada por hormonas. Los *factores estimulantes de colonias* y las *interleucinas* no sólo provocan que la médula ósea

fabrique leucocitos, sino que también preparan un ejército de glóbulos blancos para defender el organismo en caso de ataques, al permitir que los glóbulos blancos tengan la capacidad de proteger el cuerpo. Al parecer éstos son liberados en respuesta a señales químicas específicas en el entorno, como los agentes químicos inflamables y algunas bacterias o toxinas. La hormona *trombopoyetina* acelera la producción de plaquetas, pero poco se sabe del proceso que la regula.

Cuando se sospecha de que haya algún problema o enfermedad en la médula ósea como la anemia aplástica o leucemia, una aguja especial se utiliza para retirar una pequeña muestra de uno de los huesos planos (íleum o esternón) que se encuentran cerca de la superficie de la piel. Este procedimiento proporciona células para un examen microscópico llamado *biopsia de la médula ósea*.

Hemostasis

Normalmente, la sangre fluye suavemente por el recubrimiento (endotelio) de las paredes de los vasos sanguíneos. En el caso de que una pared de los vasos sanguíneos se rompiese, una serie de reacciones se llevan a cabo para efectuar la **hemostasis,** o detención de la hemorragia. Esta respuesta, que es rápida y localizada, implica a muchas sustancias que se encuentran normalmente en el plasma, así como a algunas otras que son liberadas por las plaquetas y las células de los tejidos dañados.

La hemostasis tiene tres fases principales, que se suceden rápidamente: **espasmos vasculares, formación de tapones de plaquetas** y **coagulación.** La pérdida de sangre se evita de forma permanente al producir tejidos fibrosos en el coágulo a modo de tapón en el agujero del vaso sanguíneo.

Básicamente, la hemostasis se lleva a cabo de la siguiente forma (Figura 10.6):

1. **Espasmos vasculares.** La respuesta inmediata cuando se daña un vaso sanguíneo es la vasoconstricción, que produce espasmos en los vasos sanguíneos. Los espasmos reducen el tamaño de los vasos sanguíenos, reduciendo la pérdida de sangre hasta que se produzca la coagulación. (Otros factores que causan los espasmos de los vasos sanguíneos son los daños en las células de los músculos lisos, la estimulación de los receptores locales del dolor y la liberación de serotonina por las plaquetas fijas.)
2. **Formación de tampón de plaquetas.** El endotelio repele las plaquetas, pero cuando se rompe de forma que las fibras del colágeno subyacente quedan expuestas, las plaquetas se vuelven "pegajo-

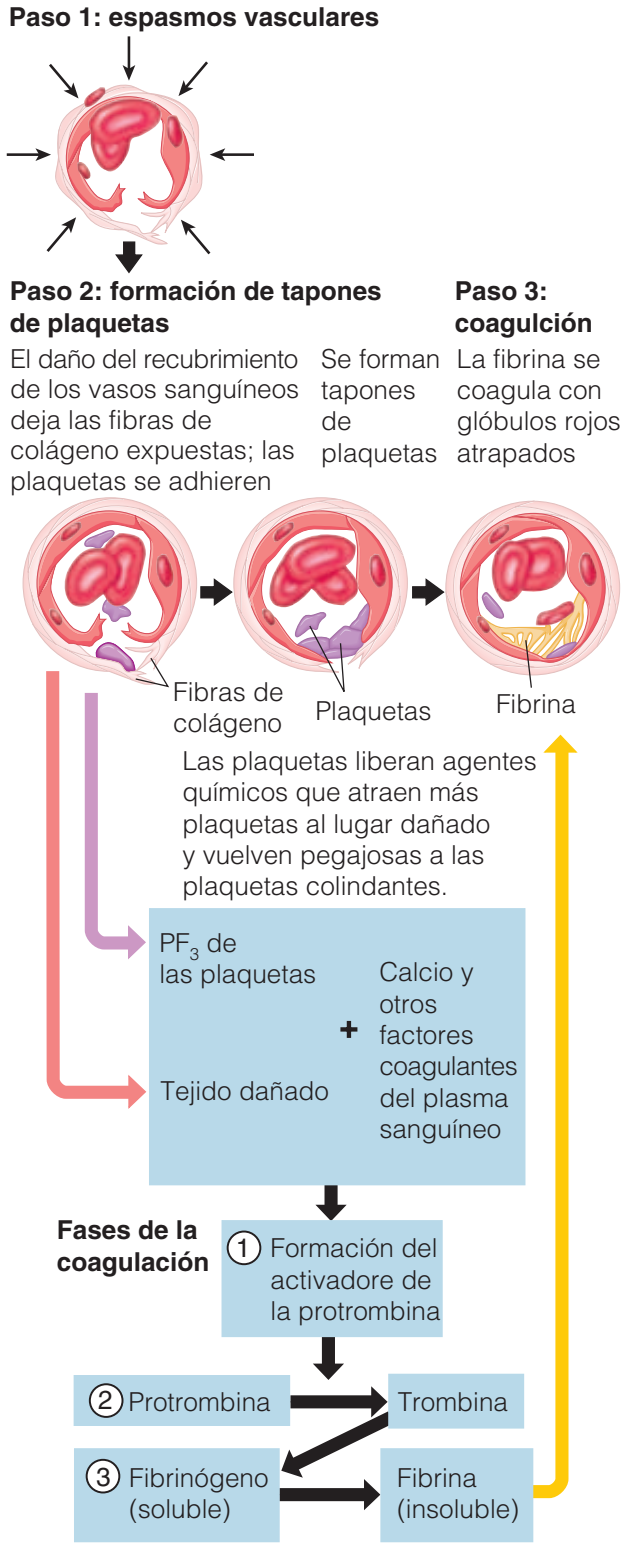


FIGURA 10.6 **Hemostasis.** Este proceso de varios pasos, detallado en el texto, comienza cuando un vaso sanguíneo se daña y el tejido conectivo de la pared del vaso sanguíneo se expone a la sangre.

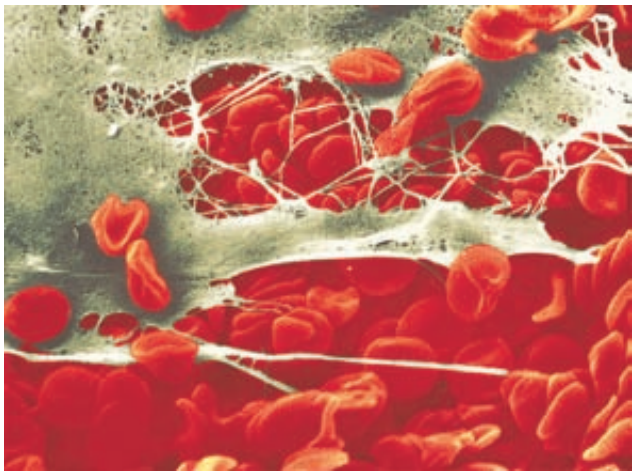


FIGURA 10.7 Coágulo de fibrina. Escáner de un microscopio de electrones de glóbulos rojos atrapados en un entramado de hebras de fibrina.

sas" y se adhieren al sitio dañado. Las plaquetas fijadas liberan agentes químicos que producen los espasmos vasculares y que atraen más plaquetas a ese lugar. A medida que las plaquetas se van apilando, se forma una pequeña masa llamada *tapón de plaquetas* o *trombo blanco.*

3. **Coagulación.**
   - **a.** Al mismo tiempo, los tejidos dañados liberan **tromboplastina,** una sustancia que desempeña un papel importante en la coagulación.
   - **b.** El **PF_3,** un fosfolípido que recubre la superficie de las plaquetas, interactúa con la tromboplastina, la vitamina K y otros factores que intervienen en la coagulación de la sangre, y con los iones cálcicos (Ca^{2+}) para formar un activador que desencadenará el proceso de la coagulación.
   - **c.** Este **activador de la protrombina** convierte la protrombina, presente en el plasma, en **trombina,** una enzima.
   - **d.** Entonces, la trombina une **fibrinógenos** solubles a moléculas insolubles largas en forma de pelos de **fibrina,** lo cual forma un tramado de glóbulos rojos y forma la base del coágulo (Figure 10.7). Al cabo de una hora, el coágulo empieza a retraerse, extrayendo **suero** (el plasma menos las proteínas coagulantes) de la masa y juntando los pedazos rotos del vaso sanguíneo.

Normalmente, la sangre se coagula en 3 ó 6 minutos. Por norma, una vez que el proceso de coagulación ha empezado, los factores desencadenantes se inactivan rápidamente para evitar que la coagulación se expanda (sangre sólida). Con el tiempo, el endotelio se regenera, y el coágulo se deshace. Una vez que el proceso de coagulación queda claro, es evidente que aplicar una gasa estéril en un corte o ejercer presión sobre una herida acelera el proceso. La gasa proporciona una superficie dura a la que las plaquetas pueden adherirse y la presión fractura las células, aumentando la liberación de tromboplastina de forma local.

Trastornos de la hemostasis

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los dos trastornos principales de la hemostasis (formación indeseada de coágulos y trastornos hemorrágicos) son los polos opuestos.

Coagulación indeseada

A pesar de la protección del organismo contra la coagulación inapropiada, los coágulos indeseados a veces se forman en los vasos sanguíneos, sobre todo en las piernas. Un coágulo que se desarrolla y permanece en un vaso sanguíneo que no está dañado se llama **trombo.** Si el trombo es lo suficientemente grande, puede evitar que la sangre fluya más allá de la obstrucción. Por ejemplo, si la obstrucción se forma en los vasos sanguíneos que van al corazón *(trombosis coronaria),* las consecuencias pueden ser la muerte del músculo del corazón y un ataque al corazón mortal. Si el trombo se desprende de la pared del vaso sanguíneo y flota libremente en el torrente sanguíneo, se convierte en un **émbolo.** El émbolo no tiene porqué ser un problema a menos que, o hasta que, llegue a un vaso sanguíneo demasiado estrecho para que pueda pasar. Por ejemplo, un *émbolo cerebral* puede causar un *infarto cerebral.*

La coagulación indeseada puede estar causada por cualquier cosa que golpee el endotelio de una vaso sanguíneo y favorezca la adhesión de las plaquetas, como las quemaduras graves, los golpes, o una acumulación de materiales grasos. La sangre que fluye lentamente, o la acumulación sanguínea, es otro factor de riesgo, especialmente en pacientes inmovilizados. Un gran número de anticoagulantes como la aspirina, a heparina y el dicumarol, se utilizan clínicamente en pacientes propensos a los trombos.

Trastornos hemorrágicos

Las causas más comunes de la hemorragia anormal son la falta de plaquetas (trombocitopenia) y déficits de algunos factores de la coagulación, como resultado de un mal funcionamiento del hígado o por algunas enfermedades genéticas.

La **trombocitopenia** es el resultado de un número insuficiente de plaquetas circulantes. Incluso los movimientos normales causan hemorragia espontánea de los pequeños vasos sanguíneos. Esto se comprueba con numerosas manchas púrpura, llamadas **petequia,** en la piel. Esto puede deberse a cualquier enfermedad que afecte a la médula ósea, como el cáncer de médula espinal, la radiación, o algunas drogas.

Cuando el hígado es incapaz de sintetizar su suministro normal de los factores coagulantes, se producen episodios de hemorragia anormales y a menudo graves. Si la vitamina K (necesaria para las células del hígado para producir los factores de la coagulación) es insuficiente, el problema se corrige fácilmente con suplementos de dicha vitamina. Sin embargo, cuando el funcionamiento del hígado se ve dañado (como en la hepatitis y la cirrosis), sólo las transfusiones sirven de ayuda. Las transfusiones de plaquetas concentradas proporcionan alivio temporal de la hemorragia.

El término **hemofilia** se aplica a diferentes tipos de trastornos hemorrágicos que resultan de la falta de algunos de los factores necesarios para la coagulación. La hemofilia presenta signos y síntomas similares que comienzan a una edad temprana. Incluso la herida menos grave puede provocar una hemorragia prolongada peligrosa. Las hemorragias repetidas por la misma causa pueden hacer que éstas sean dolorosas.

Cuando una hemorragia tiene lugar, los hemofílicos necesitan una transfusión de plasma fresco o inyecciones del factor coagulante que les falta. Los hemofílicos son completamente dependientes de una de éstas terapias, por lo que algunos se convierten en víctimas de enfermedades virales transmitidas por la sangre como la hepatitis o el sida (el sida, síndrome de inmunodeficiencia adquirida, es una enfermedad de inmunidad deprimida descrita en el Capítulo 12). Estos problemas se han resuelto completamente por la disponibilidad de factores coagulantes fabricados genéticamente y vacunas contra la hepatitis. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

8. ¿Cuál es el nombre de la célula madre que da lugar a todos los glóbulos rojos?
9. ¿Qué propiedad de los glóbulos rojos limita su vida a 120 días aproximadamente?
10. ¿En qué se diferencia la producción de plaquetas de la del resto de los elementos figurados?
11. ¿Cuáles son los factores que permiten el riesgo de la formación de trombos en los vasos sanguíneos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Grupos sanguíneos y transfusiones

Como ya hemos visto, la sangre es vital para el transporte de sustancias en el organismo. Cuando hay una pérdida de sangre, los vasos sanguíneos se contraen y la médula ósea aumenta la formación de células sanguíneas en un intento de mantener la circulación de la sangre. Sin embargo, el cuerpo puede compensar la pérdida del volumen de sangre hasta un límite. Las pérdidas del 15% al 30% producen debilidad. Las pérdidas de más del 30% provocan un *shock* grave, que puede ser mortal. Las transfusiones completas de sangre tienen como objetivo reemplazar las pérdidas de sangre y tratar la anemia severa o la trombocitopenia. El procedimiento normal de los bancos de sangre conlleva la donación de sangre por parte de un donante y mezclarla con anticoagulante para evitar la coagulación. La sangre tratada puede almacenarse (refrigerada a 4 °C) durante 35 días antes de ser utilizada.

Los grupos sanguíneos humanos

A pesar de que las transfusiones completas de sangre pueden salvar vidas, las personas tienen diferentes grupos sanguíneos, y la transfusión de sangre incompatible puede ser mortal. ¿Y eso porqué? Las membranas de plasma de los glóbulos rojos, como las de cualquier otra célula del organismo, contienen proteínas determinadas genéticamente (antígenos), que identifican a cada persona como única. Un **antígeno** es una sustancia que el cuerpo reconoce como extraña; éste estimula el sistema inmunitario para que libere anticuerpos u otras formas de autodefensa. La mayoría de los antígenos son proteínas extrañas, como las que forman parte de los virus o bacterias, que se las han arreglado para entrar en el cuerpo. Aunque cada uno de nosotros toleremos nuestros propios antígenos celulares, las proteínas de los glóbulos rojos de una persona serán reconocidas como extrañas en otra con diferentes antígenos. Los que detectan esto son los llamados **anticuerpos,** presentes en el plasma. El impedimento de los anticuerpos provoca que los glóbulos rojos extraños se colapsen, un fenómeno denominado **aglutinación*,** que conlleva el trastorno de los vasos sanguíneos pequeños en todo el cuerpo. En las siguientes horas, los glóbulos rojos extraños se descomponen, y su hemoglobina se libera al torrente sanguíneo. Aunque la trasfusión de sangre no puede aumentar la capacidad transportadora de

*Los antígenos de los glóbulos rojos que promueven este colapso son llamados a veces **aglutinógenos,** y los anticuerpos que impiden que se unan son llamados **aglutininas.**

orientación PROFESIONAL

TÉCNICO EN FLEBOTOMÍA

Los flebotomistas deben saber dónde se sitúan todas las arterias y venas del cuerpo.

"La flebotomía es el procedimiento más importante de un laboratorio", dice Michael Coté, que supervisa al

personal de flebotomía en el hospital de Palo Alto en California. "Para hacer diagnósticos precisos y recomendar tratamientos efectivos, es vital la extracción de una muestra, ponerla cuidadosamente en un recipiente limpio y analizarla correctamente en el laboratorio. Sin una persona altamente cualificada, nada de esto es posible."

Flebotomía no es exactamente una palabra corriente; deriva de los términos griegos para "vena" y "cortar". Un técnico en flebotomía está preparado para reunir y procesar muestras de sangre que serán analizadas en un laboratorio de análisis.

"La anatomía es un requisito clave para la formación en flebotomía, ya que se tiene que aprender dónde están todas las arterias y venas en el cuerpo. Las venas de algunos pacientes son más fáciles de encontrar, pero otras venas son prácticamente invisibles. Se necesita saber el lugar adecuado para insertar la aguja. A pesar que el 90% de la sangre que sacamos pertenece a la región antecubital de dentro del codo, también se puede extraer sangre de la vena cefálica del antebrazo o de las venas de las manos."

El Sr. Coté insiste en que el conocimiento de fisiología también es importante. "Tengo que ser capaz de analizar el estado físico y de salud de los pacientes, ya que esto afecta a la calidad de la muestra de sangre que se va a extraer y puede ser necesaria la utilización de otro tipo de aguja. Las personas que están deshidratadas pueden ser difíciles ya que su presión sanguínea es más baja y el funcionamiento de las venas no es el adecuado. Los pacientes con una mala circulación también pueden suponer un problema. La sangre tiende a estancarse en vez de fluir libremente por las extremidades porque están frías. Los pacientes de cáncer muestran una especial sensibilidad al dolor, así que debemos tener mucho cuidado con ellos y utilizar una aguja lo más fina posible." Los pacientes con un historial de drogadicción también suponen un reto. "Los pinchazos frecuentes con agujas hacen que se formen cicatrices en la piel. Puedes explicarles a las personas que han consumido drogas intravenosas que sus venas están más duras y son más difíciles de penetrar con una aguja."

El señor Coté también sugiere que un buen flebotomista también debe poseer habilidades interpersonales: "La mayoría de las personas son aprensivas a las agujas, por lo que hay que tener paciencia y ser capaces de calmarles. Antes que nada, hay que estar seguro de uno mismo. Si el flebotomista está nervioso, el paciente lo notará y se pondrá nervioso también".

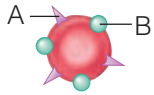
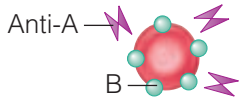
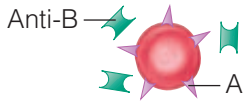
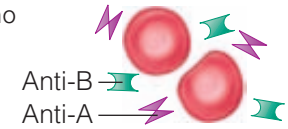
> *"La anatomía es un requisito clave en la formación de flebotomía."*

Para ser profesional, un flebotomista debe haberse graduado en la universidad, completar un programa de formación en flebotomía o adquirir la equivalencia de experiencia requerida, así como aprobar el examen requerido por la *American Society of Clinical Pathologists* en:

2100 W. Harrison Street
Chicago, IL 60612-3798
(312) 738-1336
http://www.ascp.org

Para más información sobre esta profesión, consulta la siguiente dirección de Internet: www.anatomyandphysiology.com.

TABLA 10.3 Grupos sanguíneos

Grupo sang.	Frecuencia (% población de EE.UU.) Blancos	Negros	Asiáticos	Americanos nativos	Antígenos de glóbulos rojos (aglutinógenos)	Ilustración	Anticuerpos del plasma (aglutininas)	Sangre que puede recibir
AB	4	4	5	<1	A B		Ninguno	A, B, AB, O Receptor universal
B	11	20	27	4	B		Anti-A	B, O
A	40	27	28	16	A		Anti-B	A, O
O	45	49	40	79	Ninguno		Anti-A Anti-B	O Donante universal

oxígeno que sería necesaria y en algunas zonas pueden quedar desprovistas de sangre, las consecuencias más devastadoras de las trasfusiones de sangre es que las moléculas de hemoglobina pueden bloquear los túbulos de los riñones, provocando un fallo renal y la muerte. Las reacciones a las trasfusiones también pueden producir fiebre, escalofríos, náuseas, y vómitos, pero en ausencia de problemas en los riñones la probabilidad de que estas reacciones sean mortales es escasa. Para evitar los daños en los riñones se necesita un tratamiento que consiste en inyectar una serie de fluidos para disolver y diluir la hemoglobina y administrar diuréticos para que sean expulsados del cuerpo a través de la orina.

Existen más de 30 antígenos comunes de los glóbulos rojos en seres humanos, por lo que las células sanguíneas de cada persona pueden clasificarse en diferentes grupos sanguíneos. Sin embargo, los antígenos de los grupos sanguíneos ABO y Rh son los que causan mayores reacciones en una trasfusión sanguínea. Estos dos grupos sanguíneos se describen a continuación.

Como se muestra en la Tabla 10.3, los **grupos sanguíneos ABO** se basan en el tipo de antígenos, tipo A o tipo B, que hereda una persona. La ausencia de ambos antígenos da lugar al tipo O, la presencia de ambos antígenos resulta en el tipo el AB, y la presencia de antígenos A o B, produce el tipo A o B de la sangre, respectivamente. En los grupos sanguíneos ABO, los anticuerpos se forman durante la infancia contra los antígenos ABO que no están presentes en nuestros propios glóbulos rojos. Como se muestra en la tabla, un bebé que no tiene antígenos ni A ni B (grupo O) produce anticuerpos A y B, y así sucesivamente.

Los **grupos sanguíneos Rh** se llaman así porque uno de los ocho antígenos Rh (aglutinógeno D) fue identificado originalmente en los monos **Rh**esus. Más tarde se descubrieron los mismos antígenos en los seres humanos. La mayoría de los estadounidenses son Rh^+ (Rh positivo) lo que quiere decir que sus glóbulos rojos portan el antígeno Rh. A diferencia de los anticuerpos del sistema ABO, los anticuerpos Rh no se forman automáticamente y están presentes en la sangre de las personas Rh^- (Rh negativo). Sin embargo, si una persona Rh^- recibe sangre incompatible (es decir sangre Rh^+), poco después de la trasfusión el sistema inmunitario se sensibiliza y comienza a producir anticuerpors contra el tipo de sangre extraño. La **hemólisis** (ruptura de los glóbulos rojos) no ocurre en la primera trasfusión ya que el cuerpo necesita tiempo para reaccionar y comenzar a producir los anticuerpos. Sin embargo, a partir de la segunda vez, se lleva a cabo una reacción a la trasfusión típica en la que los anticuerpos del paciente atacan y destruyen los glóbulos rojos Rh^+ del donante.

Un problema importante relativo al Rh aparece en mujeres Rh^- embarazadas que tienen bebés Rh^+. El primer embarazo de este tipo resulta normalmente en el nacimiento de un bebé sano. Pero una vez que la madre ya se ha sensibilizado a los antígenos Rh^+ que han pasado mediante la placenta a su torrente sanguíneo, formará anticuerpos Rh^+ a menos que sea tratada con RhoGAM justo después de dar a luz. El RhoGAM es un suero inmunitario que evita la sensibilización y la subsecuente respuesta inmonitaria. Si la madre no es tratada y se queda embarazada de nuevo de un bebé Rh^+, sus anticuerpos pasarán a través de la placenta y destruirán los glóbulos rojos del bebé, produciendo una enfermedad que se llama *enfermedad hemolítica del recién nacido*. El bebé tiene anemia y se vuelve hipóxico y cianótico (la piel presenta un reflejo azul). El cerebro se daña e incluso puede provocarse la muerte a menos que no se lleve a cabo una trasfusión fetal antes del nacimiento para proporcionar más glóbulos rojos para el transporte de oxígeno.

Tipos de sangre

La importancia de determinar el tipo de sangre del donante y el receptor *antes* de la trasfusión es evidente. El procedimiento normal para determinar el tipo de sangre ABO se explica brevemente en la figura 10.8. Esencialmente, el proceso conlleva la mezcla de la sangre con dos tipos diferentes de suero inmune: anti-A y anti-B. La aglutinación se produce cuando los glóbulos rojos de una persona del grupo A se mezclan con el suero anti-A, pero no cuando se mezclan con suero anti-B. Por lo tanto, los glóbulos rojos de tipo B se colapsan con el suero anti-B pero no con el suero anti-A. A causa de la importancia de la compatibilidad de los grupos sanguíneos, también se realiza la prueba de compatibilidad cruzada. La *prueba de compatibilidad cruzada* se lleva a cabo para comprobar la aglutinación de los glóbulos rojos del donante con el suero del receptor y los glóbulos rojos del receptor con el suero del donante. Para determinar el tipo de Rh, se realiza un proceso similar al del tipo ABO.

¿LO HAS ENTENDIDO?

12. ¿En qué se basan los tipos de sangre de los seres humanos?
13. ¿Cuál es el resultado más probable cuando se realiza una trasfusión de sangre incompatible?
14. Carlos está sangrando abundantemente después de haber sido golpeada por un camión cuando volvía a casa en su bici. En el hospital, la enfermera le pregunta si sabe su tipo sanguíneo. Él le contestó que tenía el mismo tipo de sangre que la mayoría de la gente. ¿Cuál es su tipo de sangre ABO?

P *¿Cuál es el tipo de sangre adecuada para realizar una trasfusión a una persona de tipo B?*

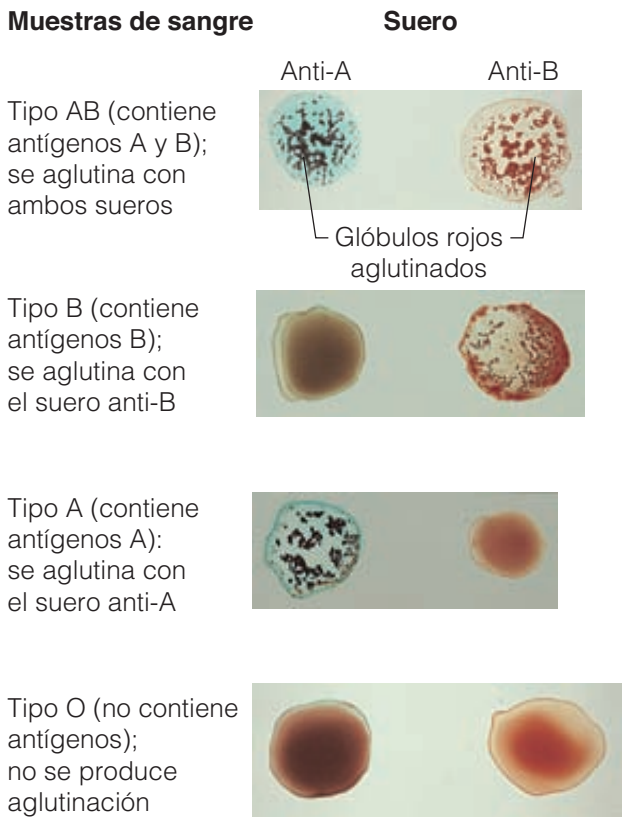


FIGURA 10.8 Determinar el grupo sanguíneo ABO. Cuando se añade suero con anticuerpos anti-A o anti-B a una muestra de sangre disuelta con solución salina, la aglutinación tendrá lugar entre el anticuerpo y el antígeno correspondiente (si estuviese presente).

15. ¿Cuál es la diferencia entre antígeno y anticuerpo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Formación y desarrollo de la sangre

En los embriones jóvenes, el sistema circulatorio completo se desarrolla de forma temprana. Antes del nacimiento, ya existen muchas zonas de formación celular (el hígado y el bazo entre otros) pero en el séptimo mes de desarrollo, la médula ósea del feto se ha con-

R *Tipos B y O.*

MÁS DE CERCA

CREAR SANGRE: SUSTITUTOS ARTIFICIALES DE LA SANGRE

El término *sustituto de la sangre* se malinterpreta algunas veces. La sangre tiene muchos componentes y una gran variedad de funciones (desde la lucha contra infecciones hasta el trasporte del oxígeno) que ningún sustituto fabricado artificialmente podría satisfacer. Sin embargo, hay sustitutos líquidos disponibles que pueden transportar oxígeno desde los pulmones hasta el resto del cuerpo y pueden "estirar" una cantidad limitada de sangre hasta que la trasfusión surta efecto. Un beneficio importante es que no trasmiten enfermedades.

Hemoglobina modificada

Imaginemos por un momento que somos ingenieros biomédicos. Si quisieras que una sustancia trasporte oxígeno en la sangre, ¿qué usarías? Al igual que muchos investigadores, probablemente comenzarías con hemoglobina, el propio transportador de oxígeno de la sangre. Podrías obtener hemoglobina de los glóbulos rojos humanos de la sangre que es demasiado vieja para utilizarla en una trasfusión o de la sangre de vaca que ya está disponible. Desafortunadamente, la hemoglobina no puede usarse en sí misma, ya que se divide espontáneamente al entrar en contacto con el plasma y es eliminada rápidamente por los riñones (lo que puede conllevar un fallo renal). Unir de forma química las subunidades de hemoglobina para evitar que se separen, o formar grandes cadenas de moléculas de hemoglobina, reduce la eliminación por los riñones. Algunos tipos de estas cadenas de hemoglobina pueden permanecer en la sangre hasta 24 horas.

Otro problema de la hemoglobina humana libre es que se une al oxígeno de manera más fuerte (tiene mayor afinidad) que la hemoglobina contenida dentro de los glóbulos rojos, por lo que no cede a los tejidos todo el oxígeno que requieren. La hemoglobina bovina, por el contrario, se une de forma natural al oxígeno mediante enlaces más débiles. Esta solución tiene sus propios problemas: la posible transmisión del mal de las vacas locas y el riesgo a las reacciones inmunitarias. Sin embargo, este producto bovino se permite en Sudáfrica, donde el alto porcentaje de VIH ha dificultado encontrar sangre que no esté infectada. También es posible modificar la hemoglobina con agentes químicos que disminuyan la afinidad con el oxígeno. La afinidad de la hemoglobina con el oxígeno también se puede disminuir al modificar genéticamente las moléculas de oxígeno. Cada una de estas hemoglobinas modificadas ha pasado por numerosas pruebas clínicas con diferentes niveles de éxito. Un problema común en estas pruebas es que la hemoglobina libre provoca una constricción generalizada de los vasos sanguíneos y un aumento de la presión arterial cuando se inyecta a la sangre del paciente.

> *"No es probable que pronto se establezca un sustituto de la sangre universal."*

Para intentar resolver este problema, los investigadores están fabricando hemoglobina más grande al unirla en grandes cadenas de polietileno glicol. Imagina que la hemoglobina estuviese flotando a lo largo de un río por un tubo largo, evitando los obstáculos. Esta molécula está actualmente siendo estudiada en pruebas clínicas y parece no tener efectos graves.

Y ahora algo totalmente diferente…

Algunos ingenieros se han preguntado, "si la hemoglobina tiene todos estos inconvenientes, ¿por qué utilizarla? Si quie-

MÁS DE CERCA Crear sangre *(continuación)*

res un producto de larga permanencia, que no contamine biológicamente y que esté disponible en cantidades industriales, ¿por qué no utilizar la química? Un compuesto, el politetrafluoretileno, es químicamente similar al Teflón utilizado en los utensilios de cocina antiadherentes, y puede soportar grandes cantidades de oxígeno disuelto, mucho más que el plasma. En los años sesenta, los investigadores se sorprendieron al descubrir que podían sumergir completamente a ratones durante 30 minutos en politetrafluoretileno líquido. (La respiración de los ratones de líquido de politetrafluoretileno en vez de aire abre las puertas a los investigadores para intentar probar lo mismo con seres humanos. Los recién nacidos prematuros que estarían respirando líquido amniótico normalmente, son unos candidatos obvios, pero la ventilación líquida de los adultos con disfunción pulmonar grave también está actualmente bajo estudio.)

Como sangre artificial, el politetrafluoretileno tiene un serio problema: no se disuelve en el plasma. Al combinar detergentes y fosfolípidos con el politetrafluoretileno se produce una emulsión de pequeños trozos que pueden suspenderse en el medio acuoso del plasma. Para adjuntar la cantidad suficiente de oxígeno en el politetrafluoretileno, los pacientes deben respirar oxígeno puro al 70%-100% de la mascarilla. El oxígeno transportado por el politetrafluoretileno se usa de forma más fácil en los tejidos del organismo, ya que las partículas son mucho más pequeñas que los eritrocitos y se adentran por los capilares a un mayor nivel. El politetrafluoretileno se elimina de la circulación y se almacena en el bazo y el hígado hasta que se exhala en forma de vapor por los pulmones varios días después. Los efectos colaterales son hipertensión y síntomas de la gripe. Actualmente, un tipo de politetrafluoretileno se ha aprobado en EE.UU. para el uso de la cateterización cardiaca.

Estos sustitutos de la sangre tienen tanto ventajas como desventajas, por lo que es improbable que se conviertan pronto en un sustituto universal de la sangre. Más bien, se intentará elegir el sustituto ideal para las necesidades clínicas de cada paciente. A pesar de que se ha apoyado en los últimos 30 años el estudio de sustitutos artificiales de la sangre, ningún producto, incluyendo los que se han descrito anteriormente, ha sido aprobado en EE.UU. para otro uso en seres humanos que no sea el experimental. La sangre sigue siendo un bien que no tiene precio, y su bella complejidad no ha podido ser sustituida todavía por la tecnología médica moderna.

vertido en el lugar principal de la hematopoyesis, y lo seguirá siendo a lo largo de la vida. Por lo general, las células sanguíneas embriónicas están en circulación en los recién formados vasos sanguíneos desde el día 28 del desarrollo. La hemoglobina fetal se diferencia de la hemoglobina formada tras el nacimiento, ésta tiene una mayor capacidad para obtener oxígeno, una característica altamente deseable, ya que la sangre fetal es menos rica en oxígeno que la de su madre. Tras el nacimiento, las células sanguíneas fetales se van reemplazando gradualmente por los glóbulos rojos que contienen más hemoglobina A, que es la más común. En las situaciones en las que los glóbulos rojos fetales se destruyen a tanta velocidad que el hígado inmaduro no puede deshacerse de los productos derivados de la descomposición de la hemoglobina de la bilis lo suficientemente rápido, el niño se vuelve *ictérico*. Este tipo de ictericia no tiene mayor gravedad y se llama **ictericia fisiológica,** para distinguirla de otras enfermedades más serias que producen también ictericia o tejidos amarillentos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Varias enfermedades congénitas son el resultado de factores genéticos (como la hemofilia y la anemia falciforme) y de interaccions con factores de la sangre materna (como la enfermedad hemolítica del recién nacido). Los factores alimentarias pueden conllevar problemas en la formación de las células sanguíneas como la producción de la hemoglobina. La anemia ferropénica es especialmente común en las mujeres a causa de sus pérdidas mensuales de sangre durante la menstruación. Los jóvenes y ancianos tienen mayor riesgo de padecer leucemia. Al aumentar la edad, los tipos crónicos de leucemia, las anemias y las enfermedades que provocan coágulos inadecuados son más comunes. Sin embargo, son secundarios a los trastornos del corazón, de los vasos sanguíneos y del sistema inmunológico. Los ancianos tienen especial riesgo de padecer anemia perniciosa a causa de que la mucosa gástrica (que produce el factor intrínseco) se atrofia con la edad. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

16. ¿En qué se diferencia la hemoglobina fetal de la adulta?
17. ¿Qué trastornos sanguíneos son especialmente comunes en los ancianos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se presentan unas herramientas de estudio interactivo que sirven a modo de repaso adicional de los temas clave del Capítulo 10.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Composición y funciones de la sangre (págs. 340-349)

1. La sangre está compuesta por una matriz de fluido interte (plasma) y por los elementos figurados. La sangre puede presentar de un color desde escarlata hasta rojo apagado, dependiendo del oxígeno que transporte. El volumen normal de la sangre adulta es de 5 a 6 litros.
2. En el plasma hay disueltos (en su mayoría agua) nutrientes, gases, hormonas, deshechos, proteínas, sales, etc. La composición del plasma cambia a medida que las células del organismo eliminan o añaden sustancias, pero los mecanismos homeostáticos trabajand para mantenerla relativamente constante. El plasma constituye el 55% de la sangre.
3. Los elementos figurados, las células vivas de la sangre que representan alrededor del 45% del total de la sangre, son los siguientes:
   a. Eritrocitos, o glóbulos rojos. Estas células, que tienen forma de disco y no tienen núcleo, transportan el oxígeno unido a sus moléculas de hemoglobina. Su tiempo estimado de vida es de 100 a 120 días.
   b. Leucocitos o glóbulos blancos. Son células ameboides encargadas de la protección del cuerpo.
   c. Plaquetas. Son fragmentos de células que participan en la coagulación de la sangre.

   WEB Actividad: Chapter 10, Formed Elements.
4. La anemia es una disminución de la capacidad de la sangre para transportar oxígeno. Las causas posibles son un descenso del número de glóbulos rojos funcionales o una disminución de la cantidad de hemoglobina que contienen. La policitemia es un número excesivo de glóbulos rojos que puede ser el resultado del cáncer de médula ósea o del desplazamiento a un lugar en el que hay menos oxígeno disponible en el aire (a altas altitudes, por ejemplo).
5. Los leucocitos tienen núcleo y se divididen en dos grupos:
   a. Los granulocitos, que pueden ser neutrófilos, eosinófilos y basófilos.
   b Los agranulocitos que son los monocitos y los linfocitos.
6. Cuando las bacterias, virus u otras sustancias extrañas invaden el cuerop, los glóbulos blancos aumentan en número (leucocitosis) y luchan contra ellos de diferentes formas.
7. La leucopenia es una disminución anormal del número de glóbulos blancos. Un aumento anormal de los glóbulos blancos se detecta en la mononucleosis infecciosa y en la leucemia (cáncer de los leucocitos).
8. Todos los elementos figurados nacen en la médula ósea de una célula madre común que se llama hemocitoblasto. Sin embargo, sus formas de desarrollo son diferentes. El estímulo de la hematopoyesis es hormonal (eritropoyetina en el caso de lo glóbulos rojos).

Hemostasis (págs. 349-351)

1. La coagulación de la sangre en caso de un vaso sanguíneo dañado, o hemostasis, tiene tres pasos: espasmos vasculares, formación del tapón de plaquetas, y formación del coágulo.
2. La hemostasis empieza por una interrupción o desgarro en el recubrimiento del vaso sanguíneo. Los espasmos vasculares y la acumulación de plaquetas en el lugar de forma temporal paran o reducen la pérdida de sangre. El PF_3 de las plaquetas y el factor de los tejidos comienzan el desarrollo de la coagulación, que conlleva la formación de hebras de fibrina. La fibrina atrapa los glóbulos blancos cuando pasan, formando el coágulo.
3. Normalmente, los coágulos se deshacen cuando el vaso se ha restaurado de forma permanente. Cuando se forma un coágulo o permanece en un vaso sanguíneo sano, éste se llama trombo; un coágulo que fluye por el torrente sanguíneo es un émbolo.
4. Una hemorragia anormal puede reflejar una falta de plaquetas (trombocitopenia), de factores genéticos (hemofilia) o incapacidad del hígado para fabricar a los factores coagulantes.

Grupos sanguíneos y transfusiones (págs. 351-354)

1. Los grupos sanguíneos se clasifican en función de las proteínas (antígenos) de las membranas de los glóbulos rojos. Los anticuerpos complementarios pueden (o no) estar presentes en la sangre. Los anticuerpos se aglutinan en presencia de glóbulos rojos extraños.
2. Normalmente, se diferencian los grupos sanguíneos ABO. El tipo O es el más común; el menos común es el AB. Los antígenos ABO están acompañados por anticuerpos ya existentes en el plasma, que actúan contra los glóbulos rojos que contienen antígenos extraños.
3. El factor Rh se encuentra en la sangre de la mayoría de estadounidenses. Las personas Rh^- no tienen anticuerpos anti-Rh^- hasta que no entran en contacto con sangre Rh^+.

Formación y desarrollo de la sangre (págs. 354, 356)

1. Los defectos congénitos de la sangre incluyen varios tipos de anemias hemolíticas y hemofilia. La incompatibilidad entre la sangre materna y la fetal puede dar lugar a la cianosis fetal, que puede derivar en la destrucción de las células sanguíneas del feto.

2. La hemoglobina fetal se une más fácilmente al oxígeno que la hemoglobina adulta.
3. La ictericia fisiológica en los recién nacidos refleja la inmadurez del hígado del niño.
4. La leucocitosis excesiva puede ser indicativo de una malformación de los órganos formadores de la sangre o de leucemia. La leucemia es más común en los niños y en los ancianos.
5. Los ancianos tienen un mayor riesgo de anemia, leucemia y trastornos de la coagulación.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. ¿Qué produce eritropoyesis?
   a. Úlcera sangrante crónica.
   b. Reducción de la ventilación respiratoria.
   c. Disminución del nivel de actividad física.
   d. Reducción del flujo de sangre en los riñones.
2. La eliminación de los glóbulos rojos puede inducirse en una persona con anemia falciforme por
   a. pérdida de sangre.
   b. ejercicio intensivo.
   c. estrés.
   d. fiebre.
3. Un niño es diagnosticado con anemia falciforme. Esto quiere decir que
   a. uno de sus padres tiene anemia falciforme.
   b. uno de sus padres era portador del gen de la anemia falciforme.
   c. los dos padres tienen anemia falciforme.
   d. los dos padres eran portadores de la anemia falciforme.
4. La policitemia *vera* resulta en
   a. sobreproducción de glóbulos blancos.
   b. volúmen excepcionalmente alto de sangre.
   c. viscosidad especialmente alta de la sangre.
   d. hematocrito especialmente bajo.
5. ¿Cuál de los siguientes no es típico de los leucocitos?
   a. Movimiento ameboide.
   b. Fagocítico (algunos).
   c. Con núcleo.
   d. Son las células más numerosas del torrente sanguíneo.
6. El leucocito que libera histamina y otros químicos inflamatorios es el
   a. basófilo. c. eosinófilo.
   b. monocito. d. neutrófilo.
7. ¿Cuál de los siguientes elementos figurados es fagocítico?
   a. Eritrocitos. c. Monocitos.
   b. Neutrófilos. d. Linfocitos.
8. Una enfermedad resultante de la trombocitopenia es
   a. la formación de trombos.
   b. la formación de émbolos.
   c. la petequia.
   d. la hemofilia.
9. ¿Cuál de los siguientes puede causar problemas en una reacción a la trasfusión?
   a. Los anticuerpos del donante atacan los glóbulos rojos del receptor.
   b. Colapso de las venas por aglutinación de los glóbulos rojos.
   c. Lisis de los glóbulos rojos donados.
   d. Bloqueo de los riñones.
10. Si una madre Rh^- se queda embarazada, ¿cuándo la enfermedad hemolítica del recién nacido puede no ser posible en el niño?
    a. Si el niño es Rh^-.
    b. Si el niño es Rh^+.
    c. Si el padre es Rh^+.
    d. Si el padre es Rh^-.
11. El plasma sin las proteínas coaguladoras se llama
    a. suero. c. fibrina.
    b. sangre completa. d. factor tisular.
12. La albúmina
    a. es un amortigudor de la sangre.
    b. ayuda a mantener la presión osmótica de la sangre.
    c. distribuye el calor corporal.
    d. transporta algunas moléculas.

Respuesta breve

13. ¿Cuál es el volumen medio de sangre en una persona adulta?
14. Enumera todas las categorías diferentes que puedas de sustancias que haya en la sangre.
15. Define *elementos figurados*. ¿Qué categoría es más numerosa? ¿Cuál es el que hace la capa leucocitaria?
16. Define *anemia* y enumera tres posibles causas.

17. Nombra los glóbulos blancos granulares y los agranulares. Nombra la función más importante de cada tipo en el organismo.
18. Nombra los elementos figurados que se forman a partir de las células madres mieloides. Enumera aquellos que se forman a partir de las células madres linfoideas.
19. ¿Qué ntipos de glóbulos blancos residen principalmente en los tejidos del organismo?
20. Describe el proceso de hemostasis. Indica qué desencadena este proceso.
21. ¿Cómo puede una disfunción del hígado provocar trastornos hemorrágicos?
22. ¿Qué son las aglutininas?
23. Nombra los cuatro grupos sanguíneos ABO.
24. ¿Qué es la reacción a una trasfusión?
25. Explica porqué una persona Rh^- no tiene una reacción a la trasfusión en la primera exposición a la sangre Rh^+. ¿Por qué sí hay una reacción a la trasfusión la segunda vez que recibe sangre Rh^+?
26. Si tuvieses un alto nivel de hematocritos, ¿esperarías que tu nivel de hemoglobina fuese alto o bajo? ¿Por qué?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

27. Un paciente con diálisis renal tiene un bajo nivel de glóbulos rojos. ¿Qué hormona, secretada por el riñón, puede asumirse que está en niveles insuficientes?
28. Una biopsia de la médula ósea del señor Barbero, un hombre con una terapia de medicamentos a largo plazo, muestra un alto porcentaje de tejido conectivo no hematopoyético. ¿Qué enfermedad presenta? Si los síntomas son graves, ¿qué tratamientos a largo plazo y a corto plazo se deben indicar?
29. Una mujer llega al médico quejándose de cansancio, dificultad de respiración y escalofríos. La prueba de sangre indica que tiene anemia y se le diagnostica una úlcera sangrante. ¿Qué tipo de anemia presenta?
30. A un paciente se le diagnostica cáncer de médula ósea y tiene un hematocrito del 70%. ¿Cómo se llama esta enfermedad?
31. Un profesor de mediana edad de Bilbao está en los Alpes suizos estudiando astronomía. Hace dos días que ha llegado y tiene previsto quedarse todo el año. Sin embargo, se da cuenta que le cuesta respirar cuando sube las escaleras y que se cansa rápidamente cuando realiza cualquier tipo de ejercicio. Sus síntomas desaparecen gradualmente; después de dos meses, se siente mejor. Cuando vuelve a España, se hace un examen médico completo y el médico le comenta que sus eritrocitos están por encima de lo normal. (a) Intenta explicar este hecho. (b) ¿Estarán también sus glóbulos rojos a un alto nivel? ¿Por qué?
32. ¿Por qué una persona es más propensa a morir desangrada cuando una arteria se corta limpiamente que cuando se aplasta o desgarra?
33. Explica cómo la hemoglobina fetal permite la trasferencia de oxígeno a través de la placenta de la madre al feto.

CAPÍTULO

11

El sistema cardiovascular

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, conocerás las funciones del sistema cardiovascular y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- El corazón bombea sangre.
- Los vasos sanguíneos proporcionan los conductos por los que la sangre circula hasta todos los tejidos corporales.

NUESTROS OBJETIVOS

El corazón (págs. 362-374)

- Describir la ubicación del corazón en el cuerpo e identificar sus principales zonas anatómicas en un esquema o modelo adecuado.
- Trazar la ruta de la sangre a través del corazón.
- Comparar los circuitos pulmonar y sistémico.
- Explicar el funcionamiento de las válvulas cardiacas.
- Nombrar el suministro sanguíneo funcional del corazón.
- Nombrar los elementos del sistema de conducción intrínseco del corazón y describir la ruta de los impulsos a través de este sistema.

- Definir *sístole, diástole, volumen sistólico* y *ciclo cardiaco*.
- Definir *ruidos* y *soplo cardiacos*.
- Explicar la información que puede obtenerse de un electrocardiograma.
- Describir el efecto de cada uno de los siguientes elementos en la frecuencia cardiaca: estimulación mediante el nervio vago, ejercicio, epinefrina y varios iones.

Vasos sanguíneos (págs. 374-395)

- Comparar y contrastar la estructura y función de las arterias, venas y capilares.
- Identificar las principales venas y arterias del organismo y nombrar la zona corporal que nutre cada una.
- Explicar las características exclusivas de las circulaciones especiales del organismo: circulación arterial del cerebro, circulación portal hepática y circulación fetal.
- Definir *tensión arterial* y *pulso*, y nombrar varios puntos del pulso.
- Enumerar factores que afecten o determinen la tensión arterial.
- Definir *hipertensión* y *aterosclerosis*, y describir las posibles consecuencias de estas enfermedades para la salud.
- Describir los intercambios que se producen a través de las paredes capilares.

Formación y desarrollo del sistema cardiovascular (págs. 395, 397)

- Describir brevemente el desarrollo del sistema cardiovascular.
- Nombrar las modificaciones vasculares fetales (o "derivaciones fetales") y describir su función antes del nacimiento.
- Explicar el modo en que el ejercicio regular y una dieta baja en grasas y colesterol pueden ayudar a mantener la salud cardiovascular.

Cuando la mayoría de las personas oyen el término *sistema cardiovascular,* inmediatamente piensan en el corazón. Todos hemos sentido "palpitar" nuestro propio corazón de vez en cuando, y tendemos a ponernos un poco nerviosos cuando esto sucede. La importancia crucial del corazón ha sido reconocida durante siglos. No obstante, el **sistema cardiovascular** es mucho más que el corazón, y desde un punto de vista científico y médico, es importante que entendamos *por qué* este sistema resulta tan vital para la vida.

El tráfico casi continuo de entrada y salida de una concurrida fábrica en hora punta se produce a paso de tortuga en comparación con la interminable actividad continua de nuestro organismo. Día y noche, minuto a minuto, nuestros trillones de células absorben nutrientes y excretan desechos. Aunque el ritmo de estos intercambios se ralentiza cuando dormimos, deben ser continuos, porque cuando se detienen, morimos. Las células pueden realizar tales intercambios únicamente con el líquido de los tejidos más inmediatamente cercanos. Así, algunos medios de intercambio y "actualización" de estos líquidos son necesarios para renovar los nutrientes y evitar la contaminación provocada por la formación de desechos. Al igual que la concurrida fábrica, el organismo debe poseer un sistema de transporte para llevar sus distintas "cargas" hacia atrás y hacia adelante. En vez de carreteras, vías de tren y pistas de aviones, las rutas de distribución del organismo son sus vasos sanguíneos con orificios.

La función principal del sistema cardiovascular es el transporte. Mediante la sangre como vehículo de transporte, el sistema lleva oxígeno, nutrientes, desechos celulares, hormonas y muchas otras sustancias vitales para la homeostasis corporal desde las células y hasta éstas. La fuerza para mover la sangre por el cuerpo se proporciona mediante los latidos cardiacos y la tensión arterial.

El sistema cardiovascular puede compararse con una bomba muscular equipada con válvulas unidireccionales y un sistema de tuberías grandes y pequeñas por el que circula la sangre. La sangre (la sustancia transportada) se explica en el Capítulo 10. Aquí consi-

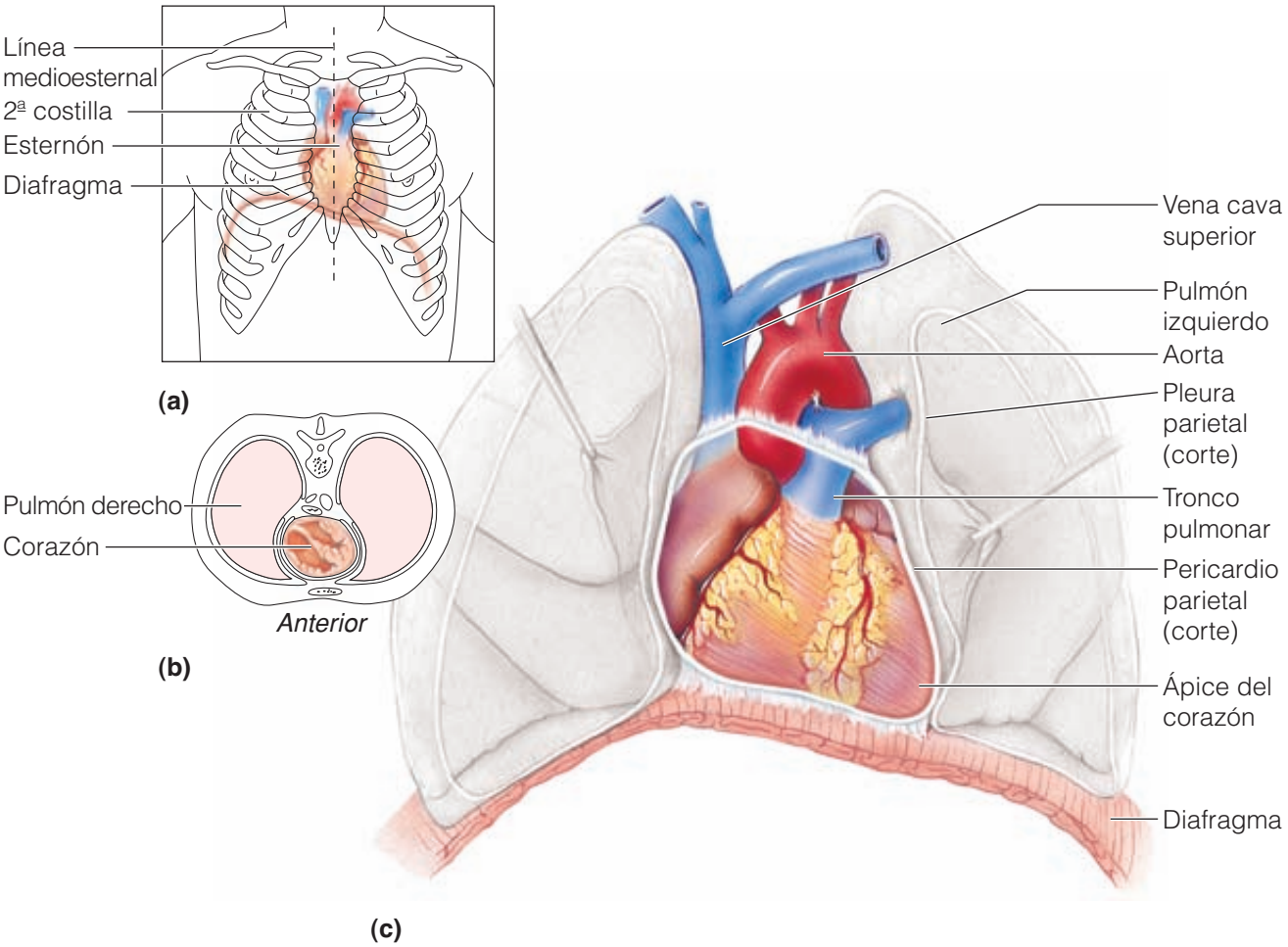


FIGURA 11.1 Ubicación del corazón en el tórax.
(a) Relación del corazón con el esternón y las costillas. **(b)** Vista transversal que revela la posición relativa del corazón en el tórax. **(c)** Relación del corazón y de los grandes vasos con los pulmones.

deraremos el corazón (la bomba) y los vasos sanguíneos (la red de tubos).

El corazón

Anatomía del corazón

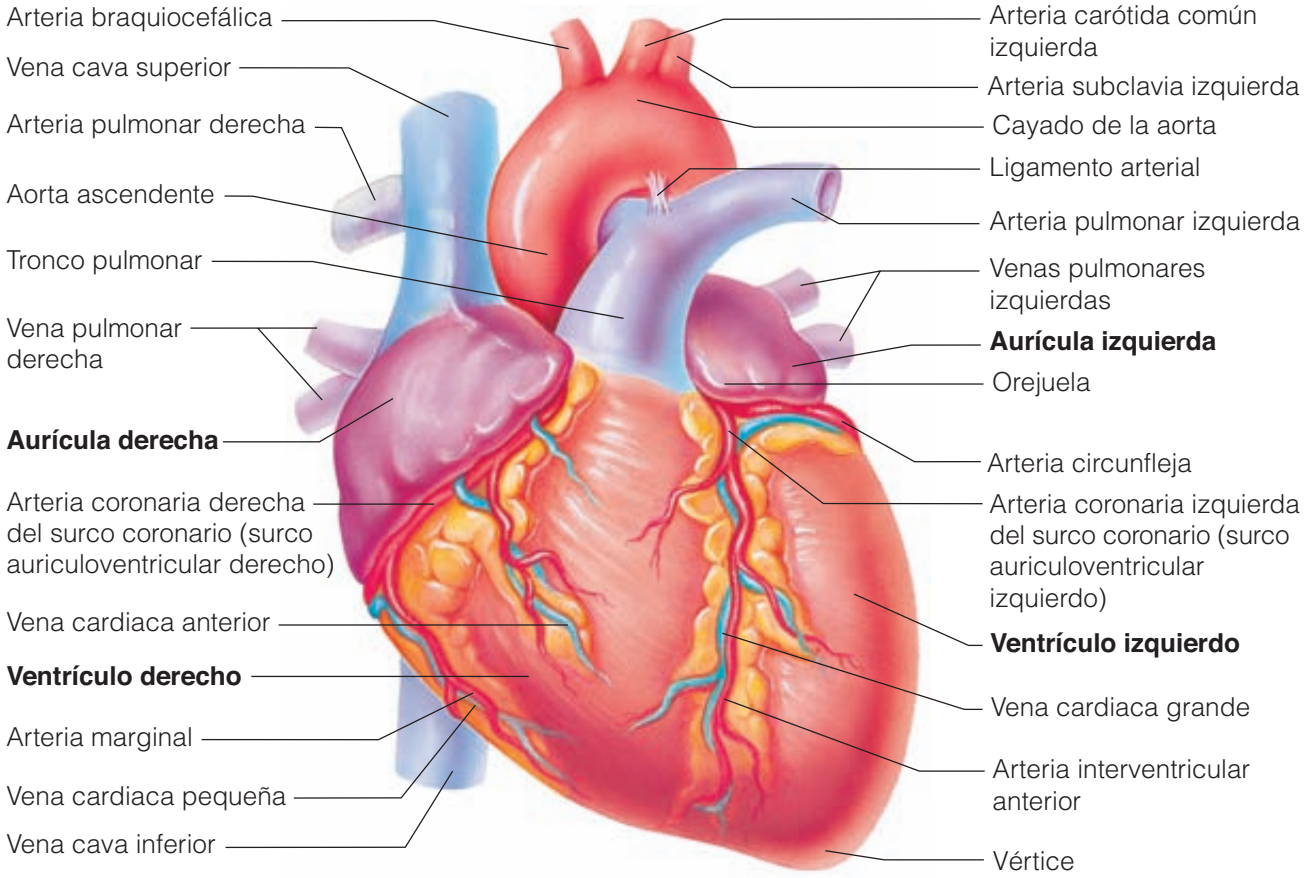
Ubicación y tamaño

El tamaño y peso modestos del corazón ofrecen pocas pistas de su increíble resistencia. Aproximadamente del tamaño del puño de una persona, el corazón, lleno de orificios y con forma de cono, pesa menos de 454 gramos. Bien encajado en el **mediastino** inferior, la cavidad medial del tórax, el corazón está flanqueado por los pulmones (Figura 11.1). Su **ápice** más puntiagudo está dirigido hacia la cadera izquierda y descansa en el diafragma, aproximadamente al nivel del quinto espacio intercostal. (Aquí es exactamente donde uno colocaría un estetoscopio para contar la frecuencia cardiaca de un pulso apical). Su parte posterosuperior ancha (o **base**), desde donde emergen los grandes vasos del cuerpo, señala hacia el hombro derecho y se apoya debajo de la segunda costilla.

Revestimientos y pared

El corazón está revestido de un saco de doble pared denominado **pericardio.** La parte superficial suelta de ajuste de este saco se denomina **pericardio fibroso.** Esta capa fibrosa ayuda a proteger al corazón y lo ancla a sus estructuras circundantes, como el dia-

P *¿Qué cámara cardiaca posee las paredes más gruesas? ¿Cuál es el significado funcional de esta diferencia estructural?*



(a) Vista superficial anterior.

FIGURA 11.2 **Anatomía general del corazón.** *(Continúa en la pág. 364).*

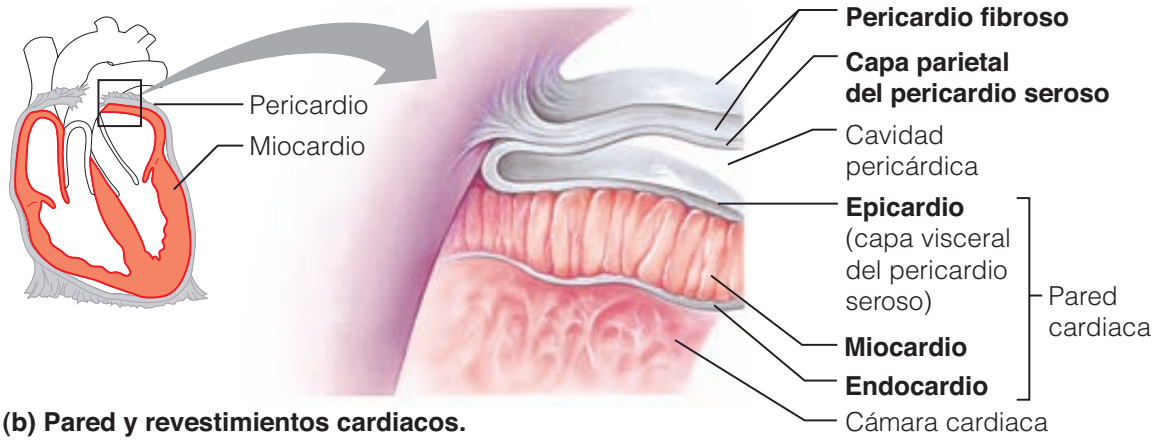
fragma y el esternón. Al fondo del pericardio fibroso se encuentra el resbaladizo **pericardio seroso** bicapa. Su **capa parietal** rodea el interior del pericardio fibroso. En la parte superior del corazón, esta capa parietal se une a las arterias grandes que salen del corazón; a continuación, realiza un giro en forma de U y continúa por la parte inferior sobre la superficie cardiaca como la **capa visceral** (o **epicardio**), que en realidad forma parte de la pared cardiaca (Figura 11.2b). Las membranas serosas del pericardio producen un resbaladizo líquido lubricante (líquido seroso). Este líquido permite que el corazón bombee fácilmente en un entorno relativamente libre de fricciones a medida que las capas serosas del pericardio se deslizan suavemente entre sí.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

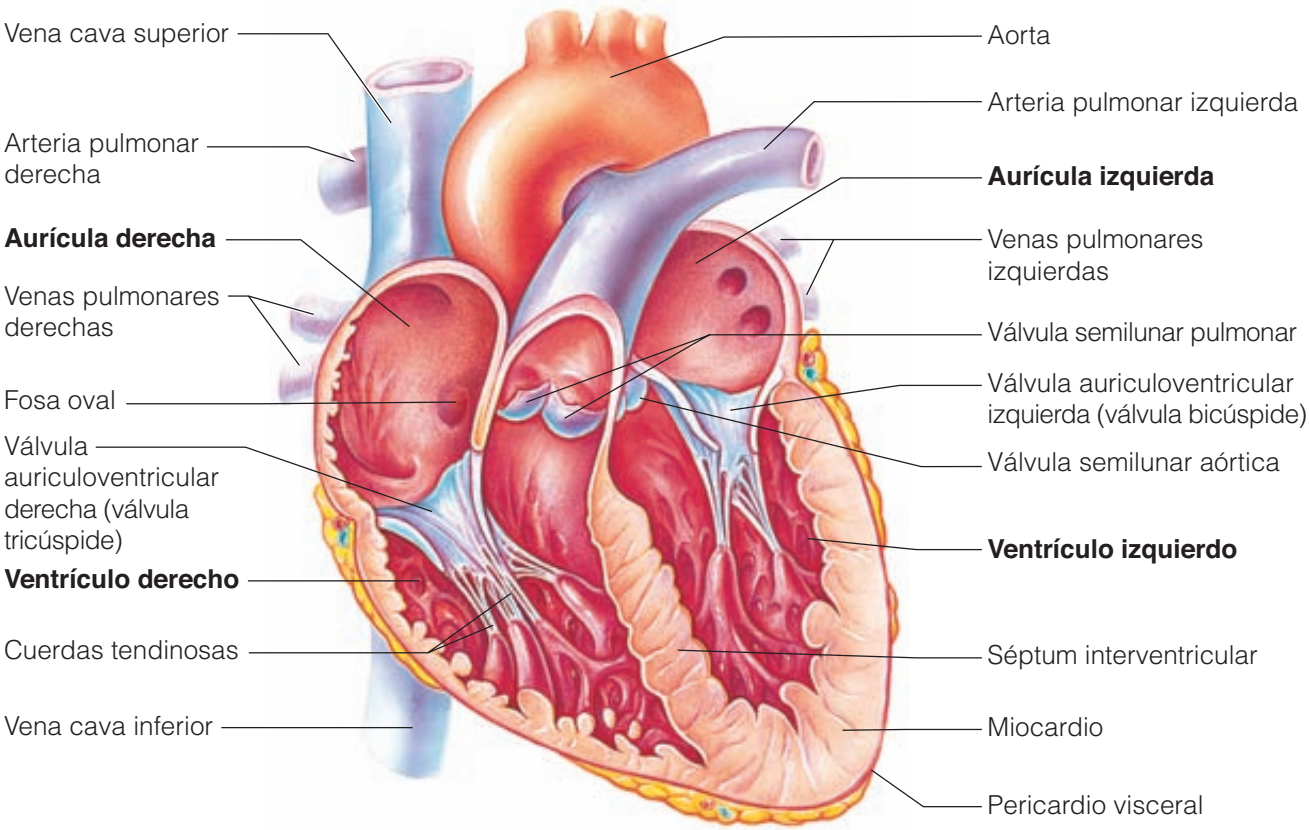
La inflamación del pericardio **(pericarditis)** a menudo es una consecuencia de la reducción del líquido seroso. Esto hace que las capas del pericardio se unan y peguen entre sí, de modo que formen dolorosas adhesiones que interfieren con los movimientos cardiacos. ▲

R *Las paredes del ventrículo izquierdo son las más espesas; esa cámara bombea la sangre a todo el organismo y de vuelta hasta el corazón; el ventrículo derecho realiza un circuito corto a través de los pulmones y de vuelta al corazón, por lo que no requiere tanto tejido muscular.*

Las paredes cardiacas están compuestas por tres capas: el *epicardio* más externo (el pericardio visceral descrito arriba), el *miocardio* y el *endocardio* más interno (Figura 11.2b). El **miocardio** consta de gruesos



(b) Pared y revestimientos cardiacos.



(c) Sección frontal que muestra las cámaras y válvulas interiores.

FIGURA 11.2 ***(continuación)*** **Anatomía general del corazón.**

fascículos de músculo cardiaco torcidos y en espiral en organizaciones anulares (véase la Figura 6.2b, pág. 186). Se trata de la capa que se contrae realmente. El miocardio está reforzado en su interior por una red de tejido conectivo fibroso y denso denominada "esqueleto del corazón". El **endocardio** es una fina lámina brillante de endotelio que rodea las cámaras cardiacas. Es la continuación de los revestimientos de los vasos sanguíneos que salen del corazón y entran en él. La Figura 11.2 muestra dos vistas del corazón: una vista anterior externa y una sección frontal. Puesto que las zonas anatómicas del corazón se describen en

la sección siguiente, sigue consultando la Figura 11.2 para ubicar cada una de las estructuras o regiones del corazón.

Cámaras y grandes vasos asociados

El corazón posee cuatro cámaras o cavidades con orificios; dos **aurículas** y dos **ventrículos.** Cada una de estas cámaras está rodeada por el endocardio, que ayuda a que la sangre fluya de forma uniforme por el corazón. Las aurículas superiores son principalmente *cámaras receptoras.* Como norma, no son importantes para el bombeo del corazón. La sangre fluye por las aurículas con baja presión desde las venas del organismo y, después, continúa para llenar los ventrículos. Los ventrículos inferiores de espesas paredes son las *cámaras de descarga,* o bombas reales del corazón. Cuando se contraen, la sangre es expulsada del corazón y empieza a circular. Como se muestra en la Figura 11.2a, el ventrículo derecho constituye la mayor parte de la superficie cardiaca anterior; el ventrículo izquierdo constituye su ápice. El séptum que divide el corazón longitudinalmente se denomina **séptum interventricular** o **séptum interauricular,** en función de la cámara que lo separe.

Aunque se trata de un solo órgano, el corazón funciona como una bomba doble. El lado derecho trabaja como la bomba del circuito pulmonar. Recibe sangre relativamente pobre en oxígeno de las venas del organismo a través de las grandes **venas cavas superior** e **inferior** y la bombea fuera a través del **tronco pulmonar.** El tronco pulmonar se divide en las **arterias pulmonares** derecha e izquierda, que transportan la sangre a los pulmones, donde se coge el oxígeno y se descarga el dióxido de carbono. La sangre rica en oxígeno se drena desde los pulmones y vuelve al lado izquierdo del corazón a través de las cuatro **venas pulmonares.** La circulación que acaba de describirse, del lado derecho del corazón a los pulmones y de vuelta al lado izquierdo del corazón, se denomina **circulación pulmonar** (Figura 11.3). Su única función es transportar sangre a los pulmones para que se realice el intercambio gaseoso y devolverla, a continuación, al corazón.

La sangre devuelta al lado izquierdo del corazón se bombea fuera del corazón en la **aorta,** desde donde las arterias sistemáticas se ramifican para nutrir esencialmente todos los tejidos corporales. La sangre pobre en oxígeno circula desde los tejidos de vuelta a la aurícula derecha a través de las venas sistemáticas, que finalmente vacían su carga en la vena cava superior o inferior. Este segundo circuito, del lado izquierdo del corazón a través de los tejidos corporales y de vuelta al lado derecho del corazón, se denomina **circulación sistemática** (véase la Figura 11.3). Suministra sangre rica en oxígeno y nutrientes a todos los órganos corporales. Puesto que el ventrículo izquierdo es la bomba sistemática que bombea sangre por una ruta mucho más larga del cuerpo, sus paredes

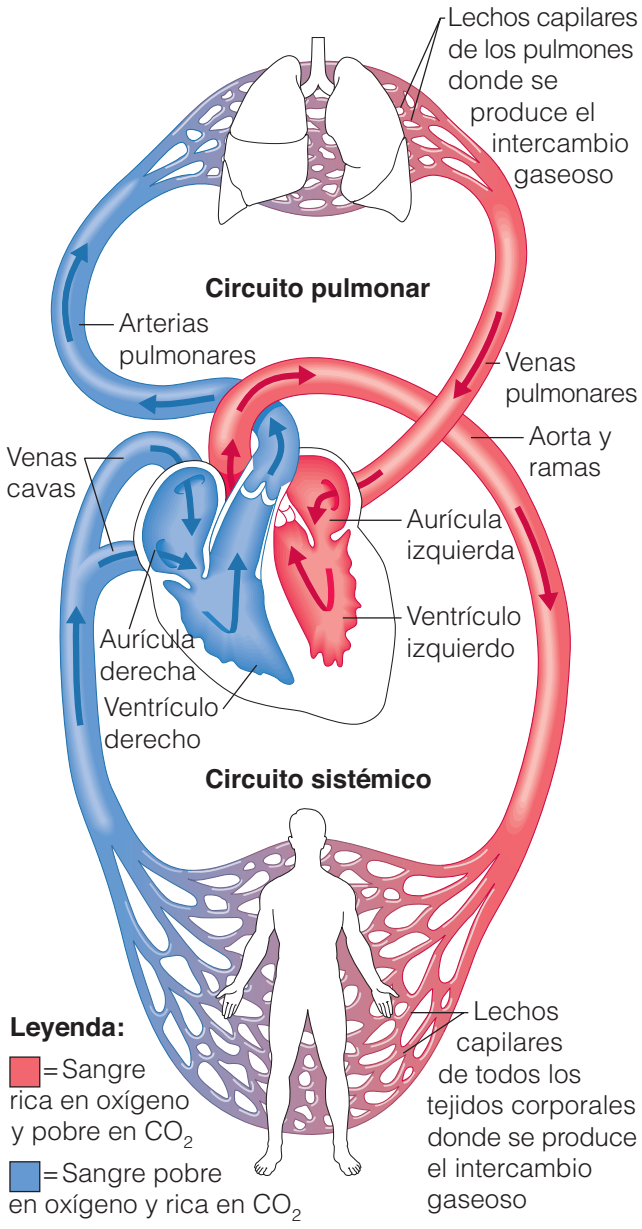


FIGURA 11.3 Las circulaciones sistémica y pulmonar. El lado izquierdo del corazón es la bomba sistémica; el lado derecho es la bomba del circuito pulmonar. (Aunque hay dos arterias pulmonares, una al lado derecho y otra al lado izquierdo del pulmón, sólo se muestra una para que resulte más sencillo).

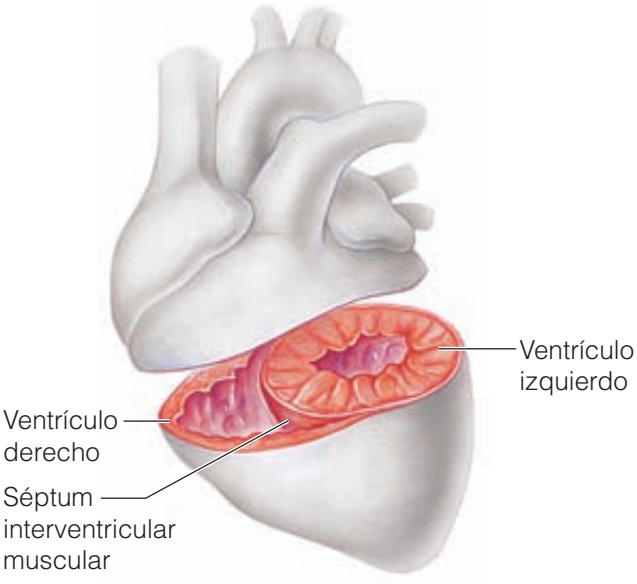


FIGURA 11.4 Diferencias anatómicas en los ventrículos derecho e izquierdo. El ventrículo izquierdo posee una pared más gruesa, y su cavidad es básicamente circular. La cavidad del ventrículo derecho tiene forma de media luna y rodea al ventrículo izquierdo.

son sustancialmente más gruesas que las del ventrículo derecho (Figura 11.4), y se trata de una bomba mucho más potente.

Válvulas

El corazón dispone de cuatro válvulas, que permiten que la sangre fluya en una sola dirección a través de las cámaras cardiacas; desde las aurículas a través de los ventrículos y fuera de las grandes arterias que salen del corazón (véase la Figura 11.2a). Las **válvulas auriculoventriculares** (o **AV**) están ubicadas entre las cámaras auricular y ventricular de cada lado. Estas válvulas evitan el retroflujo en las aurículas cuando los ventrículos se contraen. La válvula AV izquierda (la válvula **bicúspide** o **mitral**) consta de dos colgajos, o salientes, de endocardio. La válvula AV derecha (la **válvula tricúspide**) posee tres colgajos. Unas diminutas cuerdas blancas, las **cuerdas tendinosas** (aunque preferimos pensar en ellas como "las cuerdas musicales del corazón"), anclan los colgajos a las paredes de los ventrículos. Cuando el corazón se relaja y la sangre llena sus cámaras de forma pasiva, los colgajos de las válvulas AV cuelgan sin fuerza de los ventrículos (Figura 11.5a). A medida que se contraen los ventrículos, la sangre presiona sus cámaras y comienza a aumentar la presión intraventricular (presión interna de los ventrículos). Esto fuerza a los colgajos de las válvulas AV hacia arriba, de modo que se cierran las válvulas. En este punto, las cuerdas tendinosas funcionan para anclar los colgajos en una posición de cierre. Si los colgajos no estuviesen anclados, flotarían hacia arriba en las aurículas como un paraguas que se ha dado la vuelta por una ráfaga de viento. De esta forma, las válvulas AV evitan el retroflujo en las aurículas cuando se contraen los ventrículos.

El segundo conjunto de válvulas, las **válvulas semilunares,** protege las bases de las dos grandes arterias que salen de las cámaras ventriculares. Por tanto, se conocen como **válvulas pulmonares** y **semilunares aórticas** (véase la Figura 11.2c). Cada válvula semilunar posee tres valvas que se ajustan firmemente cuando se cierran las válvulas. Cuando los ventrículos se contraen y fuerzan que la sangre salga del corazón, las valvas se abren y aplanan contra las paredes de las arterias mediante la inmensa fuerza de la sangre precipitándose (Figura 11.5b). A continuación, cuando se relajan los ventrículos, la sangre empieza a fluir hacia atrás en dirección al corazón, y las valvas se llenan de sangre, de modo que se cierran las válvulas. Esto evita que la sangre arterial vuelva a entrar en el corazón.

Cada conjunto de válvulas funciona en un momento distinto. Las válvulas AV se abren durante la relajación cardiaca y se cierran cuando se contraen los ventrículos. Las válvulas semilunares se cierran durante la relajación cardiaca y se abren cuando se contraen los ventrículos. Puesto que se abren y se cierran en respuesta a los cambios de presión del corazón, las válvulas fuerzan el continuo movimiento de la sangre hacia adelante en su viaje por el corazón.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las válvulas cardiacas son dispositivos básicamente sencillos, y el corazón (al igual que cualquier bomba mecánica) puede funcionar con válvulas "de escape" siempre que el daño no sea demasiado importante. Sin embargo, las válvulas muy deformadas pueden obstaculizar intensamente la función cardiaca. Por ejemplo, una *válvula incompetente* fuerza al corazón a bombear y volver a bombear la misma sangre porque la válvula no se cierra correctamente y la sangre fluye hacia atrás. En la estenosis valvular, los colgajos de la válvula se vuelven rígidos, a menudo debido a una repetida infección bacteriana del endocardio **(endocarditis).** Esto fuerza al corazón a contraerse más enérgicamente de lo normal. En cada caso, la carga del corazón aumenta y éste acaba debilitándose y puede fallar. En tales condiciones, la válvula defectuosa se sustituye por otra válvula sintética, una válvula humana criogénica, o una válvula tratada con sustancias químicas extraída del corazón de un cerdo. ▲

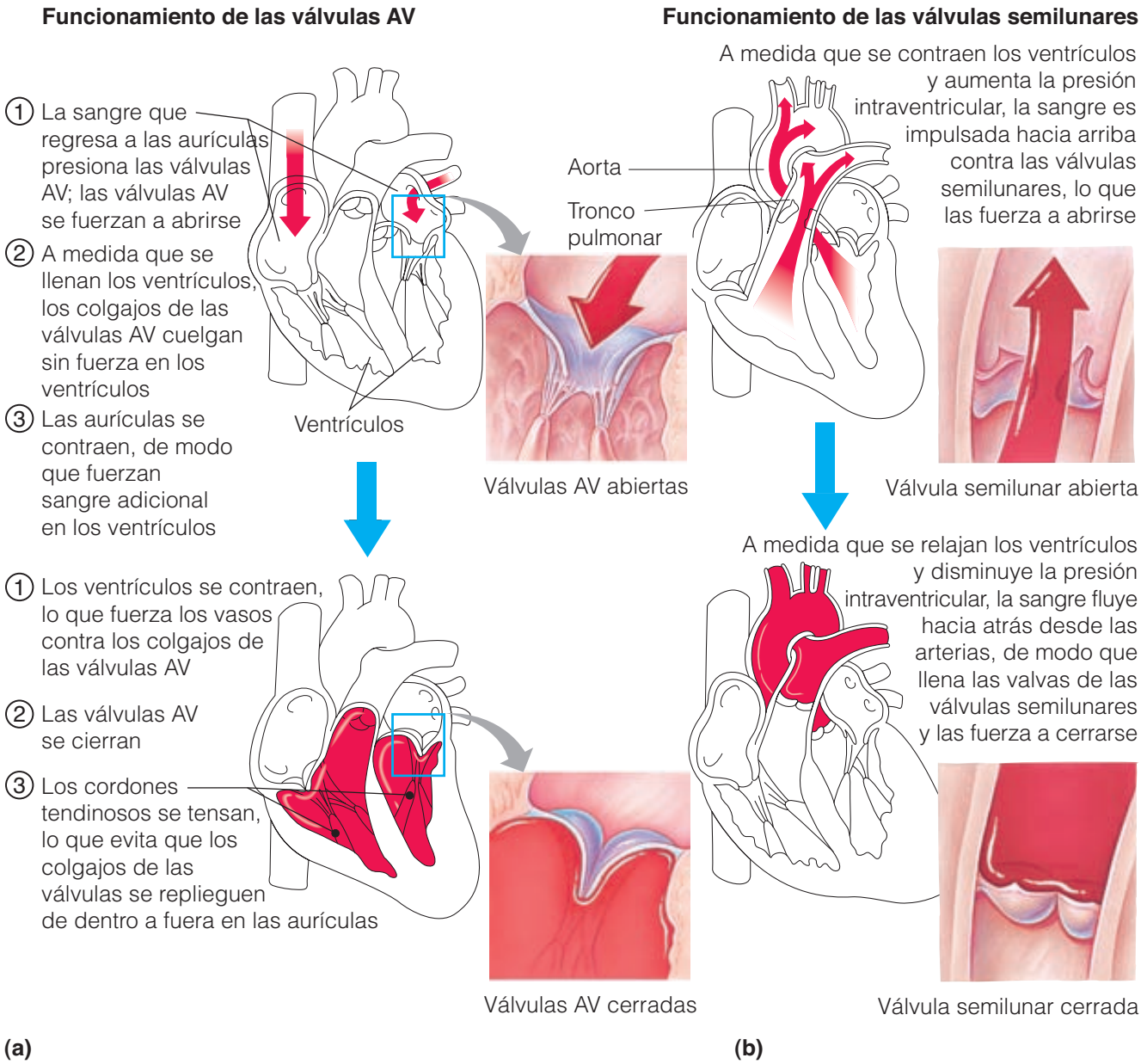


FIGURA 11.5 Funcionamiento de las válvulas cardiacas.
(a) Válvulas auriculoventriculares (AV). **(b)** Válvulas semilunares.

Circulación cardiaca

Aunque las cámaras cardiacas están bañadas de sangre casi continuamente, la sangre del corazón *no* nutre el miocardio. El suministro sanguíneo que oxigena y nutre el corazón llega a través de las arterias coronarias derecha e izquierda. Las **arterias coronarias** se ramifican desde la base de la aorta y rodean al corazón en el **surco coronario (ranura auriculoventricular)** en la unión de las aurículas y los ventrículos (véase la Figura 11.2a). Las arterias coronarias y sus ramas principales (las **arterias interventriculares anteriores** y las **arterias circunflejas** de la izquierda, así como las **arterias interventriculares posteriores** y las **arterias marginales** de la derecha) se comprimen cuando se contraen los ventrículos y se llenan cuando se relaja el corazón. El miocardio se drena mediante varias **venas cardiacas,** que se vacían en un vaso dilatado de la parte posterior del corazón deno-

minado **seno coronario.** Este último, por su parte, se vacía en la aurícula derecha.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando el corazón late muy rápido, puede que el miocardio reciba un suministro sanguíneo inadecuado porque se acortan los periodos de relajación (cuando la sangre puede fluir hasta el tejido cardiaco). Las situaciones en que el miocardio se ve privado de oxígeno provocan a menudo un gran dolor pectoral denominado **angina de pecho.** Se advierte que nunca se ignore este dolor, porque si se prolonga la angina, las células cardiacas privadas de oxígeno pueden morir, lo que provoca un **infarto.** El **infarto de miocardio** resultante suele denominarse "ataque al corazón" o "coronario". ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿En qué parte del tórax se encuentra el corazón?
2. ¿En qué se diferencia la función de la circulación sistémica y la de la circulación pulmonar?
3. ¿Por qué son importantes las válvulas cardiacas?
4. ¿Por qué un trombo de una arteria coronaria puede causar una muerte repentina?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Fisiología del corazón

A medida que el corazón late, o se contrae, la sangre realiza viajes circulares continuos (dentro y fuera del corazón por el resto del cuerpo y, a continuación, de vuelta a éste) sólo para que vuelva a enviarse fuera. La cantidad de trabajo que realiza el corazón es tan asombrosa que parece difícil de creer. En un día, impulsa el suministro sanguíneo de aproximadamente 6 cuartas partes de sangre (6 litros [l]) a través de los vasos sanguíneos más de 1.000 veces, lo que significa que en realidad bombea en torno a 6.000 cuartas partes de sangre en un solo día.

Sistema de conducción intrínseco del corazón: establecimiento del pulso básico

A diferencia de las células musculares esqueléticas, que deben estimularse mediante impulsos nerviosos antes de que se contraigan, las células musculares cardiacas pueden contraerse y, de hecho, lo hacen espontánea e independientemente, incluso si se cortan todas las conexiones nerviosas. Además, estas contracciones espontáneas se producen de forma regular y continua. Aunque el músculo cardiaco *puede* latir de forma independiente, las células musculares de las distintas zonas del corazón poseen pulsos diferentes. Las células de las aurículas laten en torno a 60 veces por minuto, pero las células ventriculares se contraen más despacio (20-40 veces/min.). Por lo tanto, sin algún tipo de sistema de control unificador, el corazón sería una bomba descoordinada e ineficaz.

Dos sistemas actúan para regular la actividad cardiaca. Uno de éstos funciona mediante los nervios del sistema nervioso autónomo, que actúan como frenos y aceleradores para reducir o aumentar la frecuencia cardiaca en función de la división que se active. Este tema se trata más adelante (véanse las págs. 372-373). El segundo sistema es el **sistema de conducción intrínseco** (o **sistema nodal**), que se forma en el tejido cardiaco (Figura 11.6) y establece su pulso básico. El sistema de conducción intrínseco consta de un tejido especial que no se encuentra en ninguna otra parte del organismo; es muy parecido a un cruce entre el tejido muscular y el tejido nervioso. Este sistema provoca la despolarización de los músculos cardiacos en un sentido; de las aurículas a los ventrículos. Asimismo, refuerza un índice de contracción de aproximadamente 75 latidos por minuto en el corazón; así, el corazón late como una unidad coordinada.

Una de las partes más importantes del sistema de conducción intrínseco es un nodo de tejido con forma de media luna denominado **nodo sinoauricular (SA),** ubicado en la aurícula derecha. Otros componentes incluyen el **nodo auriculoventricular (AV)** en la unión de las aurículas y los ventrículos, el **fascículo auriculoventricular (AV) (haz de His)** y las ramas de los fascículos derecho e izquierdo ubicadas en el séptum interventricular, y, finalmente, las **fibras de Purkinje,** que se propagan en el músculo de las paredes ventriculares.

El nodo SA es una diminuta masa celular con un trabajo descomunal. Puesto que cuenta con el mayor índice de despolarización de todo el sistema, empieza cada latido cardiaco y establece el ritmo de todo el corazón. En consecuencia, el nodo SA a menudo se denomina **marcapasos.** Desde el nodo SA, los impulsos se propagan a través de las aurículas hasta el nodo AV y, a continuación, se contraen las aurículas. En el nodo AV, el impulso se retrasa brevemente para darle tiempo a las aurículas a que terminen la contracción. Después, pasa rápidamente a través del fascículo AV, las ramas del fascículo y las fibras de Purkinje, lo que provoca una contracción "enmarañada" de los ventrículos que empieza en el ápice cardiaco y se desplaza hacia las aurículas. Esta contracción expulsa la sangre con eficacia por la parte superior en las grandes arterias que salen del corazón. El cuadro "Más de cerca" de la pág. 370 describe la *electrocardiografía,* el procedimiento clínico para establecer la actividad eléctrica del corazón.

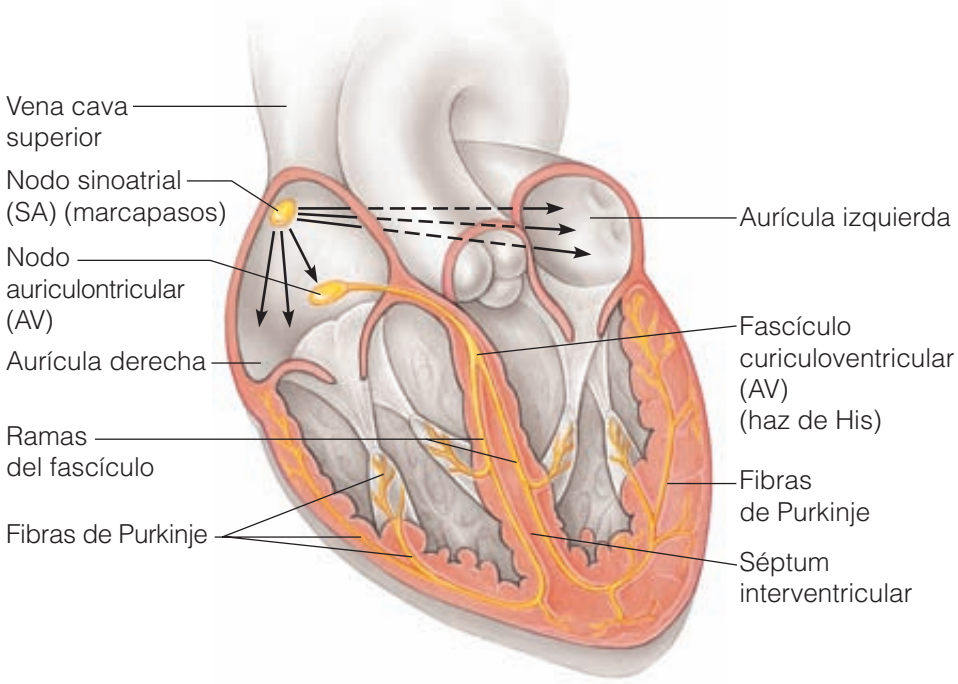


FIGURA 11.6 El sistema de conducción intrínseco del corazón. La onda de despolarización iniciada por el nodo sinoauricular (SA) pasa sucesivamente a través del miocardio auricular hasta el nodo auriculoventricular (AV), el fascículo AV, las ramas de los fascículos derecho e izquierdo y las fibras de Purkinje en las paredes ventriculares.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Puesto que las aurículas y los ventrículos están separados entre sí mediante tejido conectivo "aislante", que forma parte del esqueleto fibroso del corazón, las ondas de despolarización sólo pueden alcanzar los ventrículos desplazándose a través del nodo AV. Así, cualquier daño en el nodo AV puede liberar parcial o totalmente los ventrículos del control del nodo SA. Cuando esto sucede, los ventrículos (y el corazón) empiezan a latir a su propio ritmo, que es mucho más lento, todo el tiempo o parte de éste. Esta enfermedad se denomina **bloqueo cardiaco.**

Hay otras enfermedades que interfieren con la conducción regular de los impulsos a través del corazón; por ejemplo, los daños en el nodo SA producen una frecuencia cardiaca más lenta. Cuando esto se convierte en un problema, suelen colocarse marcapasos quirúrgicamente. La **isquemia,** o la falta de un suministro sanguíneo adecuado al músculo cardiaco, puede producir una **fibrilación;** una sacudida rápida y descoordinada del músculo cardiaco (parece una bolsa de lombrices). La fibrilación deja al corazón totalmente inútil como una bomba y es una causa principal de muerte por ataques al corazón en personas adultas. ▲

La **taquicardia** es una frecuencia cardiaca rápida (más de 100 latidos por minuto). La **bradicardia** es una frecuencia cardiaca sustancialmente menor que la normal (menos de 60 latidos por minuto). Ninguna de estas condiciones es patológica, pero la taquicardia prolongada puede desarrollarse en una fibrilación.

El ciclo del corazón y los ruidos cardiacos

En un corazón sano, las aurículas se contraen de forma simultánea. Así, a medida que empiezan a relajarse, comienza la contracción ventricular. **Sístole** y **diástole** significan *contracción* y *relajación* cardiacas, respectivamente. Puesto que la mayor parte del trabajo de bombeo se realiza mediante los ventrículos, estos términos siempre hacen referencia a la contracción y relajación de los ventrículos a menos que se especifique otra cosa.

El término **ciclo cardiaco** hace referencia a los sucesos de un latido cardiaco completo, durante el cual ambas aurículas y ventrículos se contraen y, a continuación, se relajan. El corazón late de media unas 75 veces por minuto, con lo que la longitud del ciclo cardiaco es

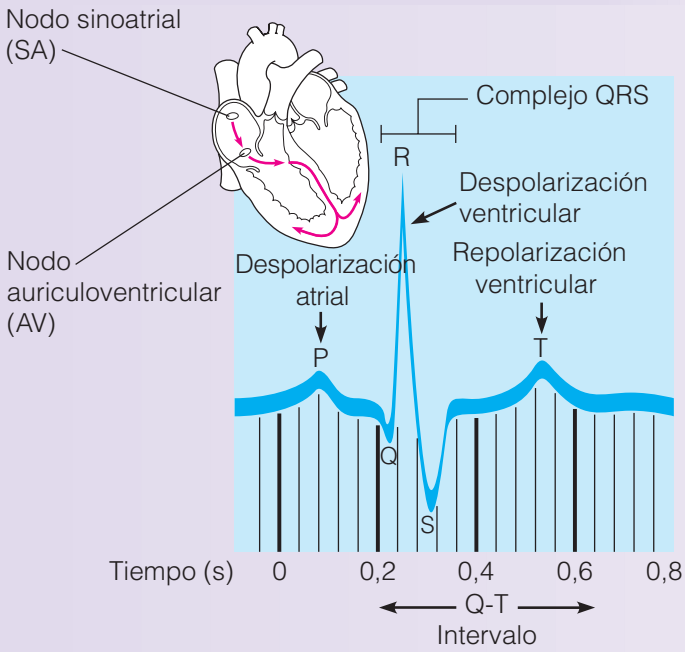
MÁS DE CERCA

ELECTROCARDIOGRAFÍA: MI CORAZÓN AÚN NO

Cuando los impulsos atraviesan el corazón, se generan corrientes eléctricas que se distribuyen por el organismo. Estos impulsos pueden detectarse en la superficie corporal y registrarse con una electrocardiografía. El registro realizado, el **electrocardiograma (ECG),** traza el flujo de corriente a través del corazón. La ilustración muestra el trazado normal de un ECG.

El típico ECG tiene tres ondas reconocibles. La primera onda, la **onda P,** es pequeña e indica la despolarización de las aurículas inmediatamente antes de que éstos se contraigan. El gran **complejo QRS,** resultante de la despolarización de los ventrículos, presenta una forma complicada y precede a la contracción de los ventrículos. La **onda T** es consecuencia de las corrientes que fluyen durante la repolarización de los ventrículos. (La repolarización de las aurículas generalmente está oculta por el gran complejo QRS, que se registra al mismo tiempo).

> *"El típico ECG tiene tres ondas reconocibles."*



Trazado de un electrocardiograma que muestra las tres ondas de deflexión normalmente reconocibles (P, QRS y T).

Las anomalías en la forma de las ondas y los cambios en su duración envían señales que indican que algo no anda bien en el sistema de conducción intrínseco, o pueden indicar un *infarto de miocardio* (actual o pasado). Un infarto de miocardio es una zona del tejido cardiaco en la que las células cardiacas han muerto; generalmente, es una consecuencia de la *isquemia.* Durante la *fibrilación,* el patrón normal del ECG se pierde por completo, y el corazón deja de funcionar como una bomba.

P *¿Las células cardiacas ventriculares se contraen isométricamente o isotónicamente durante la primera parte de la fase 2?*

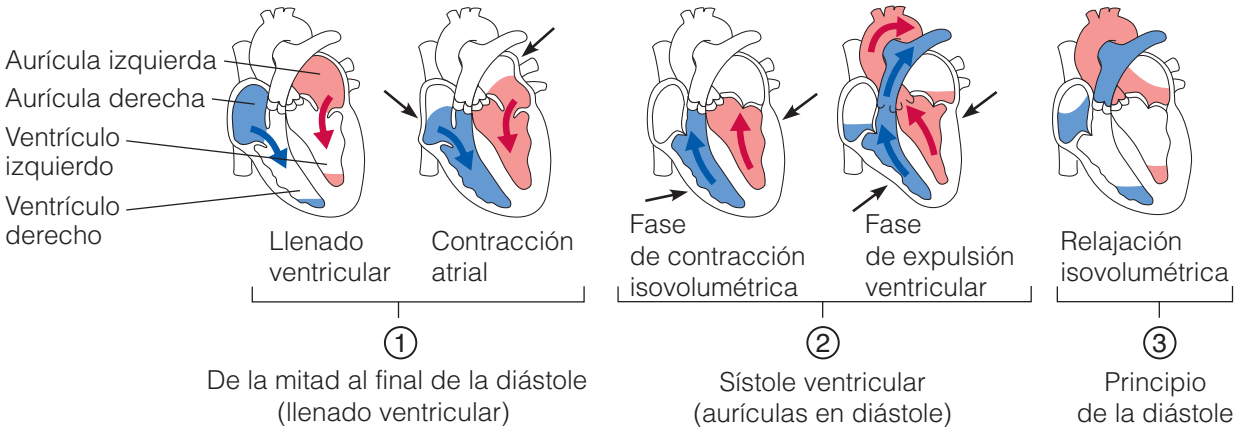


FIGURA 11.7 Resumen de los sucesos que se producen durante el ciclo cardiaco. Las flechitas negras indican las regiones del corazón que se contraen; las gruesas flechas rojas y azules indican el sentido del flujo sanguíneo. Durante las fases *isovolumétricas* (literalmente "misma medida de volumen") de los periodos 2 y 3, los ventrículos son cámaras cerradas y el volumen de sangre que contienen es invariable.

de unos 0,8 segundos normalmente. Se considerará el ciclo cardiaco en cuanto a los sucesos que se producen durante tres periodos; *de la mitad al final de la diástole, sístole ventricular* y *principio de la diástole* (Figura 11.7).

1. **De la mitad al final de la diástole.** Nuestra explicación empieza con el corazón completamente relajado. En este punto, la presión del corazón es baja y la sangre fluye de forma pasiva a través de las aurículas y en los ventrículos desde las circulaciones pulmonar y sistémica. Las válvulas semilunares están cerradas; y las válvulas AV, abiertas. Entonces, las aurículas se contraen y fuerzan a que la sangre permanezca en sus cámaras ventriculares.
2. **Sístole ventricular.** Poco después, comienza la contracción ventricular (sístole), y la presión de los ventrículos aumenta rápidamente, de modo que se cierran las válvulas AV. Cuando la presión intraventricular (presión de los ventrículos) es mayor que la de las grandes arterias que salen del corazón, las válvulas semilunares se fuerzan a abrirse y la sangre se precipita a través de ellas para salir de los ventrículos. Durante la sístole ventricular, las aurículas están relajadas y sus cámaras vuelven a llenarse de sangre.
3. **Principio de la diástole.** Al final de la sístole, los ventrículos se relajan, las válvulas semilunares se cierran de repente (para evitar el retroflujo) y, por un momento, los ventrículos se convierten en cámaras totalmente cerradas. Al principio de la diástole, la presión intraventricular disminuye. Cuando se reduce por debajo de la presión auricular (que ha estado aumentando a medida que sus cámaras se llenaban de sangre), las válvulas AV se fuerzan a abrirse y los ventrículos empiezan a llenarse de sangre de nuevo rápidamente, de modo que se completa el ciclo.

Si se utiliza un estetoscopio pueden oírse dos sonidos distintos durante cada ciclo cardiaco. Estos **ruidos cardiacos** se describen a menudo con dos sílabas, "lub" y "dup," y la secuencia es lub-dup, pausa, lub-dup, pausa, y así sucesivamente. El primer ruido cardiaco (lub) se debe al cierre de las válvulas AV. El segundo ruido cardiaco (dup) se produce cuando se cierran las válvulas semilunares al final de la sístole. El primer sonido cardiaco es más largo y alto que el segundo, que tiende a ser breve y alto.

R *Las células se contraen isométricamente hasta que tienen la fuerza suficiente para superar la presión sanguínea posterior contra las válvulas semilunares, en cuyo punto su contracción se vuelve isotónica.*

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los ruidos cardiacos anormales o inusuales se denominan **soplos.** La sangre fluye silenciosamente mien-

tras el flujo sea uniforme y no se interrumpa. Si choca contra alguna obstrucción, el flujo se vuelve turbulento y genera sonidos, como los soplos cardiacos, que pueden oírse con un estetoscopio. Los soplos cardiacos son bastante comunes en los niños pequeños (y algunas personas mayores) con un corazón perfectamente sano, probablemente porque sus paredes cardiacas son relativamente finas y vibran con la sangre que se precipita. Sin embargo, los soplos en pacientes que no se incluyen en ninguno de estos grupos indican, la mayoría de las veces, problemas valvulares. Por ejemplo, si una válvula no se cierra firmemente (es *incompetente*), se oirá un silbido *después de* que se cierre esa válvula (supuestamente), a medida que la sangre fluya hacia atrás a través de una válvula parcialmente abierta. Los sonidos nítidos también pueden oírse cuando la sangre fluye enérgicamente a través de las válvulas *estenosadas* (ensanchadas). ▲

Gasto cardiaco

El **gasto cardiaco (CO)** es la cantidad de sangre bombeada hacia afuera por cada lado del corazón (en realidad, cada ventrículo) en un minuto. Es el producto de la **frecuencia cardiaca (HR)** y el **volumen sistólico (SV).** El volumen sistólico es el volumen de sangre bombeado hacia afuera por un ventrículo con cada latido del corazón. En general, el volumen sistólico aumenta a medida que se incrementa la fuerza de la contracción ventricular. Si se utilizan los valores de reposo normal de frecuencia cardiaca (75 latidos por minuto) y el volumen sistólico (70 ml por latido), el gasto cardiaco medio de un adulto puede suponerse fácilmente:

$$CO = HR\ (75\ \text{latidos/min.}) \times SV\ (70\ \text{ml/latido})$$
$$CO = 5.250\ \text{ml/min}$$

El volumen sanguíneo normal de un adulto es de unos 6.000 ml, así que todo el suministro sanguíneo pasa a través del cuerpo una vez por minuto. El gasto cardiaco varía en función de la demanda del organismo. Aumenta cuando el volumen sistólico se incrementa, cuando se aceleran los latidos del corazón o cuando se dan ambas circunstancias; disminuye cuando alguno de estos factores o ambos se reducen. Centrémonos en la regulación del volumen sistólico y de la frecuencia cardiaca.

Regulación del volumen sistólico Un corazón sano bombea hacia afuera en torno al 60% de la sangre presente en los ventrículos. Como se ha indicado arriba, corresponde aproximadamente a 70 ml (unos 60 centilitros) con cada latido. Según *ley del corazón de Starling,* el factor fundamental que controla el volumen sistólico es el grado en que se estiren las células musculares cardiacas justo antes de contraerse. Cuanto más se estiren, más fuerte será la contracción. El factor importante de estiramiento del músculo cardiaco es el *retorno venoso,* la cantidad de sangre que entra en el corazón y dilata los ventrículos. Si un lado del corazón empieza a bombear más sangre que el otro de repente, el mayor retorno venoso en el ventrículo contrario lo forzará a bombear hacia afuera una cantidad igual, para evitar embotellamientos en la circulación sanguínea.

Cualquier cosa que aumente el volumen o acelere el retorno venoso también aumenta el volumen sistólico y fuerza la contracción (Figura 11.8). Por ejemplo, un latido cardiaco lento da más tiempo a los ventrículos para que se llenen. El ejercicio acelera el retorno venoso porque aumenta la fuerza y la frecuencia cardiacas. La acción mejorada de los músculos esqueléticos activos de apretar las venas que devuelve la sangre al corazón, el denominado *bombeo muscular,* también desempeña una función principal en el aumento del retorno venoso. En cambio, un retorno venoso lento, como el que puede resultar de una intensa pérdida de sangre o de una frecuencia cardiaca extremadamente rápida, reduce el volumen sistólico, lo que hace que el corazón lata con menos fuerza.

Factores que modifican la frecuencia cardiaca básica En las personas sanas el volumen sistólico tiende a ser relativamente constante. Sin embargo, cuando el volumen sanguíneo disminuye de repente o cuando el corazón está gravemente debilitado, el volumen sistólico se reduce y el gasto cardiaco se mantiene gracias a un latido cardiaco más rápido. Aunque la contracción cardiaca no depende del sistema nervioso, su frecuencia *puede* variar temporalmente mediante los nervios autónomos. De hecho, la influencia externa más importante de la frecuencia cardiaca es la actividad del sistema nervioso autónomo. La frecuencia cardiaca también se modifica mediante diversas sustancias químicas, hormonas e iones. Algunos de estos factores se resumen en la Figura 11.8.

Control nervioso (ANS) En las épocas de estrés físico o emocional, los nervios de la *división simpática* del sistema nervioso autónomo estimulan más enérgicamente los nodos SA y AV y el propio músculo cardiaco. Como resultado, el corazón late más rápido. Éste es un fenómeno familiar para cualquier persona a la que hayan asustado o que haya tenido que correr para coger el autobús. El corazón bombea con determinada rapidez en condiciones habituales, pero se acelera cuando así lo requieren determinadas circunstancias. Puesto que un flujo sanguíneo más rápido acelera la frecuencia con la que la sangre fresca alcanza las células corporales, se pone a su disposición más oxígeno y glucosa durante las épocas de estrés. Cuando la demanda disminuye, el corazón se ajusta. Los *nervios parasimpáticos,* principalmente los nervios vagos, ralentizan y estabilizan el corazón, de modo que le den más tiempo para reposar en los momentos ajenos a las crisis. En los pacientes con *insuficiencia cardiaca congestiva* (una enfermedad en la que el corazón está casi "gastado" debido a la edad),

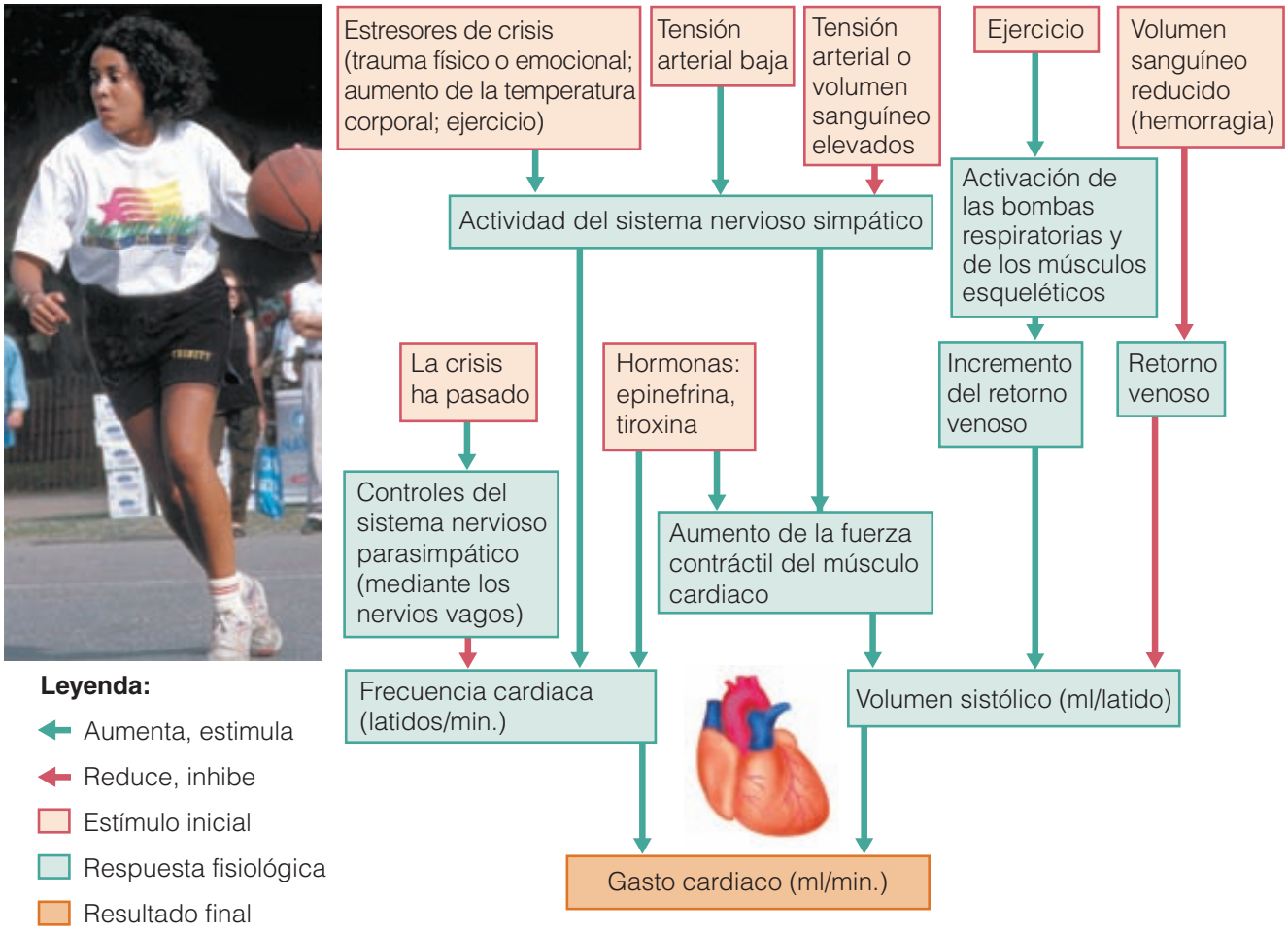


FIGURA 11.8 **Influencia de los factores seleccionados en el gasto cardiaco.**

una cardiopatía hipertensa u otro proceso patológico, el corazón bombea débilmente. A dichos pacientes, se les suele prescribir el fármaco digitalis, que mejora la fuerza contráctil y el volumen sistólico del corazón, lo que provoca un gasto cardiaco mayor.

Varias hormonas e iones pueden tener un efecto drástico en la actividad cardiaca. La *epinefrina,* que mimetiza el efecto de los nervios simpáticos, y la *tiroxina* aumentan la frecuencia cardiaca. Los desequilibrios de electrolitos entrañan una amenaza real para el corazón. Por ejemplo, unos niveles reducidos de calcio iónico en la sangre deprimen el corazón, mientras que el exceso de calcio en la sangre provoca contracciones tan prolongadas que el corazón puede detenerse por completo. Tanto el exceso como la falta de los iones necesarios, como el sodio y el potasio, también modifican la actividad cardiaca. Un déficit de iones de potasio en la sangre, por ejemplo, hace que el corazón lata débilmente y que aparezcan ritmos cardiacos anormales.

Factores físicos Unos cuantos factores físicos, incluidos la edad, el sexo, el ejercicio y la temperatura corporal, influyen en la frecuencia cardiaca. La frecuencia cardiaca en reposo es mayor en el feto (140-160 latidos por minuto) y, a continuación, se reduce gradualmente a lo largo de la vida. La frecuencia cardiaca media es mayor en las mujeres (72-80 latidos por minuto) que en los hombres (64-72 latidos por minuto). El calor aumenta la frecuencia cardiaca estimulando el índice metabólico de las células cardiacas. Esto explica las rápidas palpitaciones cardiacas que se sienten cuando se tiene fiebre y representa en parte el efecto del ejercicio en la frecuencia cardiaca (recuerda, los músculos en actividad generan calor). El frío tiene el efecto contrario; reduce directamente la frecuencia cardiaca. Como se ha indicado arriba, el ejercicio actúa a través los controles del sistema nervioso (división simpática) para aumentar la frecuencia cardiaca (y también, mediante la acción de la bomba muscular, para aumentar el volumen sistólico).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La acción de bombeo del corazón sano mantiene el equilibrio entre el gasto cardiaco y el retorno venoso. No obstante, cuando la eficiencia de bombeo del corazón se reduce de modo que la circulación no satisface las necesidades de los tejidos, se produce una **insuficiencia cardiaca congestiva (CHF).** La insuficiencia cardiaca congestiva suele ser una enfermedad progresiva que refleja el debilitamiento del corazón mediante la *aterosclerosis coronaria* (coagulación de los vasos coronarios con formación de grasas), una alta tensión arterial persistente o varios infartos de miocardio (lo que lleva a la reparación del tejido cicatrizante sin contracción).

Puesto que el corazón es una doble bomba, cada lado puede fallar independientemente del otro. Si falla el corazón izquierdo, se produce una *congestión pulmonar.* El lado derecho del corazón continúa expulsando sangre a los pulmones, pero el lado izquierdo es incapaz de expulsar la sangre de retorno en la circulación sistémica. A medida que los vasos sanguíneos de los pulmones se hinchan con la sangre, aumenta su presión interna y se producen fugas de la circulación en el tejido pulmonar, lo que provoca un **edema pulmonar.** Si no se trata, la persona de sofoca.

Si el lado derecho del corazón falla, se produce una *congestión periférica* a medida que la sangre vuelve hacia arriba en la circulación sistémica. El edema es más notable en las partes distales del cuerpo: los pies, los tobillos y los dedos se hinchan. El fallo de un lado del corazón provoca más tensión en el lado contrario y eso hace que acabe fallando todo el corazón. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

5. ¿Cuál es la función del sistema de conducción intrínseco del corazón?
6. ¿A qué cámaras cardiacas suelen aplicarse los términos *sístole* y *diástole*?
7. ¿Qué causa los sonidos *lub-dup* que se oyen con un estetoscopio?
8. ¿Qué significa el término *gasto cardiaco*?
9. ¿Qué se supone que sucedería en la frecuencia cardiaca de un individuo con fiebre? ¿Por qué?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Vasos sanguíneos

La sangre circula dentro de los vasos sanguíneos, que forman un sistema de transporte cerrado, el denominado **sistema vascular.** La idea de que la sangre circule (o "haga rondas") por el cuerpo se originó hace sólo 300 años. Los antiguos griegos creían que la sangre se movía por el organismo como una marea oceánica, desplazándose primero hacia afuera del corazón y volviendo después hacia éste en los mismos vasos para eliminar sus impurezas en los pulmones. No fue hasta el siglo XVII que William Harvey (médico inglés) probó que la sangre, de hecho, se movía en círculos.

Al igual que un sistema de carreteras, el sistema vascular tiene sus autopistas, carreteras secundarias y paseos. A medida que el corazón late, la sangre es impulsada en las **arterias** grandes que salen del corazón. A continuación se desplaza a las arterias cada vez más pequeñas y después a las **arteriolas,** que nutren los **lechos capilares** de los tejidos. Los lechos capilares se drenan mediante **vénulas,** que a su vez se vacían en las venas, las cuales finalmente se vacían en las grandes venas (venas cavas) que entran al corazón. Así, las arterias, que transportan sangre fuera del corazón y las venas, que drenan los tejidos y devuelven la sangre al corazón, son simples vasos conductores; las autopistas y carreteras secundarias. Tan sólo los diminutos capilares como pelos, que se extienden y ramifican por los tejidos y conectan las arterias más pequeñas (arteriolas) a las venas más pequeñas (vénulas), satisfacen directamente las necesidades de las células corporales. Los capilares son las calles laterales o paseos que se entrelazan íntimamente entre las células corporales y proporcionan acceso a cada "hogar". Sólo a través de sus paredes puede producirse el intercambio entre las células de tejido y la sangre.

Ten en cuenta que en este libro suelen representarse las arterias rojas y las venas azules porque, por convención, el rojo indica la sangre rica en oxígeno (el estado normal de la sangre en la mayoría de las arterias corporales) y el azul indica la sangre rica en dióxido de carbono y relativamente pobre en oxígeno (el estado normal de la sangre en la mayoría de las venas). Sin embargo, hay excepciones de esta convención, y se indicarán a medida que vayan apareciendo.

Anatomía microscópica de los vasos sanguíneos

Túnicas

Excepto por los capilares microscópicos, las paredes de los vasos sanguíneos poseen tres revestimientos, o túnicas (Figura 11.9). La **túnica íntima,** que rodea la luz (o el interior) de los vasos, es una fina capa de endotelio (células epiteliales escamosas) que descansa en una membrana basal. Sus células se ajustan perfectamente entre sí y forman una superficie totalmente lisa que reduce la fricción a medida que la sangre fluye por la luz de los vasos.

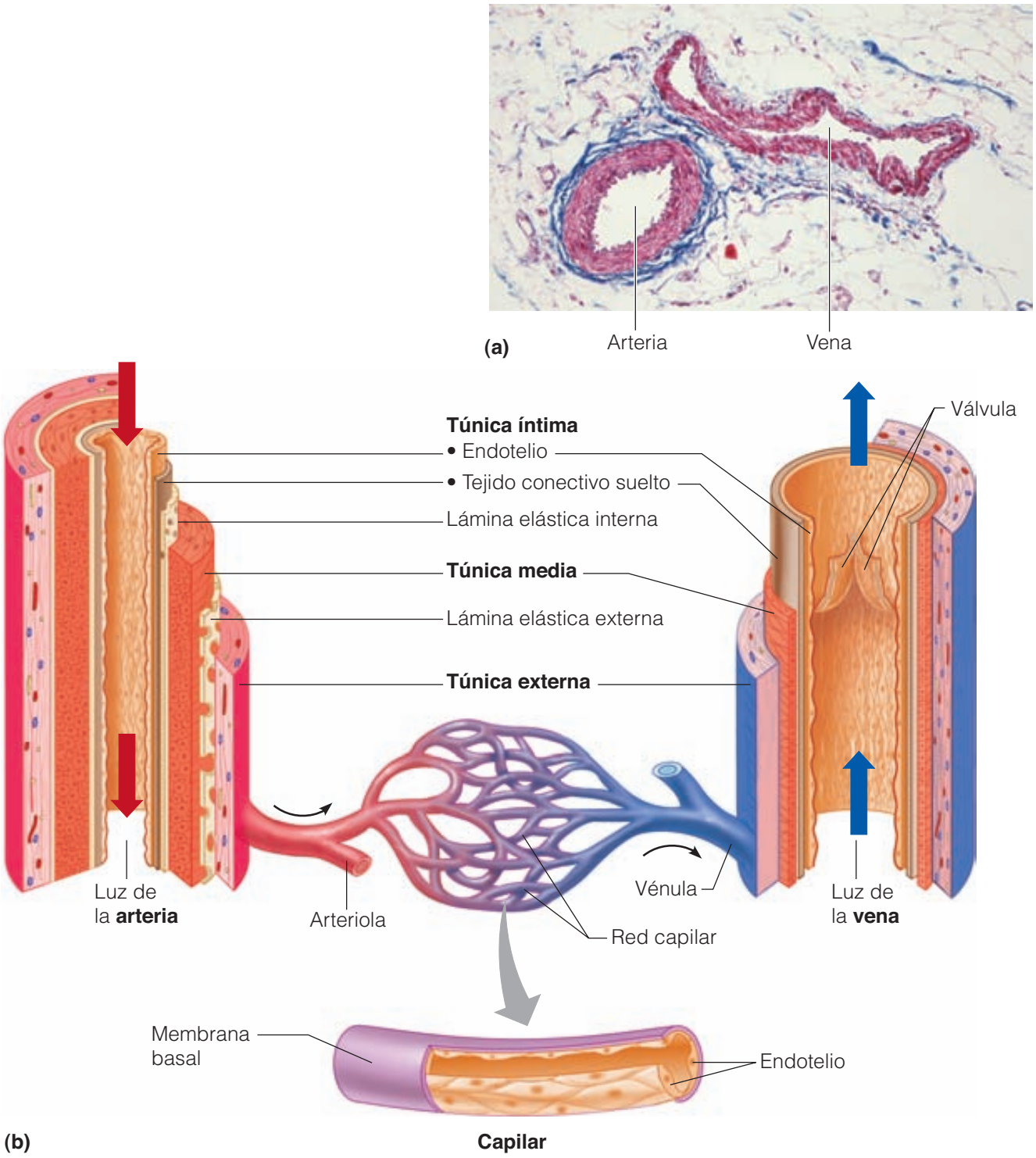


FIGURA 11.9 **Estructura de los vasos sanguíneos. (a)** Microfotografía de una arteria muscular y la correspondiente vena transversal (30×). **(b)** Las paredes de las venas y arterias constan de tres túnicas: la túnica íntima (endotelio con una membrana basal subyacente), la túnica media (músculo liso y fibras elásticas) y la túnica externa (fibras con gran cantidad de colágeno). Los capilares (entre las venas y arterias en la vía circulatoria) sólo están formados por la túnica íntima. Ten en cuenta que la túnica media es gruesa en las arterias y relativamente fina en las venas.

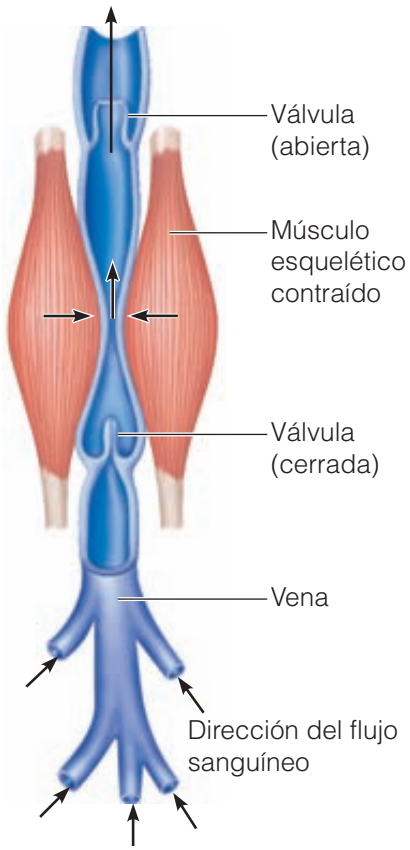


FIGURA 11.10 Funcionamiento de la bomba muscular. Cuando los músculos esqueléticos se contraen y presionan las venas flexibles, las válvulas proximales al área de contracción se fuerzan a abrirse y la sangre se impulsa hacia el corazón. Las válvulas distales al punto de contracción se cierran por el retroflujo.

La **túnica media** es el revestimiento medio abultado. Es músculo liso y fibras elásticas en su mayor parte. Algunas de las mayores arterias poseen *láminas elásticas,* láminas de tejido elástico, además de las fibras elásticas distribuidas. El músculo liso, controlado por el sistema nervioso simpático, se activa con los cambios de diámetro de los vasos. A medida que los vasos se contraen o dilatan, la presión sanguínea aumenta o disminuye, respectivamente.

La **túnica externa,** como su propio nombre indica, es la túnica más externa. Esta capa está formada fundamentalmente por tejido conectivo fibroso, y su función básica es el soporte y la protección de los vasos.

Diferencias estructurales en las arterias, venas y capilares

Las paredes de las arterias suelen ser mucho más gruesas que las de las venas. La túnica media arterial, en concreto, tiende a ser mucho más pesada. Esta diferencia estructural se relaciona con una diferencia en la función de estos dos tipos de vasos. Las arterias, que están más cerca de la acción de bombeo del corazón, deben poder expandirse a medida que la sangre es forzada a pasar por ellas y, a continuación, reculan pasivamente a medida que la sangre fluye hacia atrás en la circulación durante la diástole. Sus paredes deben ser lo suficientemente fuertes y elásticas para adoptar estos cambios de presión continuos (véase la Figura 11.19).

Las venas, por el contrario, están lejos del corazón en la vía circulatoria y la presión en ellas tiende a ser baja siempre. Así, las venas poseen unas paredes más finas. Sin embargo, puesto que la presión sanguínea en las venas suele ser demasiado baja para forzar que la sangre fluya hacia atrás hasta el corazón, y puesto que la sangre que vuelve al corazón a menudo fluye en contra de la fuerza de la gravedad, las venas cambian para garantizar que la cantidad de sangre que vuelve al corazón *(retorno venoso)* sea igual que la cantidad que se bombee fuera del corazón *(gasto cardiaco)* en todo momento. Las luces de las venas tienden a ser mucho más grandes que las de las arterias correspondientes, y las venas más grandes poseen **válvulas** que evitan el retroflujo de la sangre (véase la Figura 11.9).

- Para ver el efecto de las válvulas venosas, realiza el siguiente experimento, muy sencillo: deja colgando una mano a un lado durante uno o dos minutos, hasta que los vasos sanguíneos del dorso se dilaten (hinchen) con sangre. Coloca las puntas de dos dedos uno junto a otro sobre una de las venas dilatadas. A continuación, presiona firmemente, mueve el dedo proximal por la vena hacia el corazón. Ahora suelta ese dedo. Como podrás comprobar, la vena permanece colapsada a pesar de la gravedad. Ahora, quita el dedo distal y observa cómo la vena se llena de sangre rápidamente.

La actividad de los músculos esqueléticos también mejora el retorno venoso. A medida que los músculos que rodean a las venas se contraen y se relajan, la sangre es presionada (o "exprimida") por las venas hacia el corazón (Figura 11.10). Finalmente, cuando inhalamos, la caída de presión que se produce en el tórax hace que las venas grandes que se encuentran cerca del corazón se expandan y se llenen. Así, la "bomba respiratoria" también ayuda a devolver la sangre al corazón (véase la Figura 11.8).

Las paredes transparentes de los capilares son capas con el espesor de tan sólo una célula; sólo la túnica íntima. Debido a esta excepcional delgadez, los intercambios se realizan fácilmente entre la sangre y las células de tejido. Los diminutos capilares tienden a formar redes entretejidas denominadas *lechos capilares*. El

flujo de sangre que va desde una arteriola a una vénula, es decir, a través de un lecho capilar, se denomina **microcirculación.** En la mayoría de las regiones corporales un lecho capilar consta de dos tipos de vasos: (1) una **derivación vascular,** un vaso que conecta directamente la arteriola y la vénula de los extremos opuestos del lecho, y (2) los capilares verdaderos, los *vasos de intercambio* reales (Figura 11.11).

Los *capilares verdaderos* se cuentan de 10 a 100 por lecho capilar, según el órgano o los tejidos utilizados. Normalmente se salen al extremo proximal de la derivación y vuelven al extremo distal, pero ocasionalmente brotan de la **arteriola terminal** y se vacían directamente en la **vénula postcapilar.** Un puñado de fibras musculares lisas, denominado **esfínter precapilar,** rodea la raíz de cada capilar verdadero y actúa como válvula para regular el flujo de sangre del capilar. La sangre que fluye por una arteriola terminal puede tomar una o dos rutas: a través de los capilares verdaderos o a través de la derivación. Cuando los esfínteres precapilares están relajados (abiertos), la sangre fluye a través de los capilares verdaderos y participa en el intercambio con las células de tejido. Cuando los esfínteres están contraídos (cerrados), la sangre fluye a través de las derivaciones y evita las células de tejido.

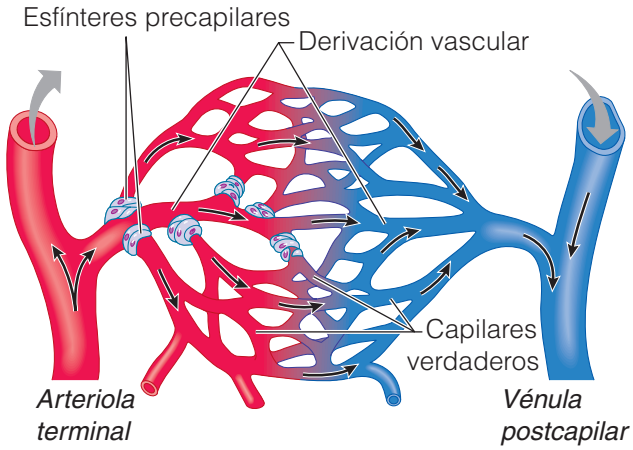
DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las **venas varicosas** son comunes en las personas que están de pie durante mucho tiempo (por ejemplo, los dentistas y peluqueros) y en individuos obesos (o embarazadas). Los factores comunes son la unión de la sangre en los pies y las piernas y un retorno venoso deficiente resultante de la inactividad o presión en las venas. En cualquier caso, las válvulas agotadas por el exceso de trabajo se rompen, y las venas se retuercen y se dilatan. Una grave complicación de las venas varicosas es la **tromboflebitis,** inflamación de una vena que se produce cuando se forma un coágulo en un vaso con mala circulación. Puesto que toda la sangre venosa debe atravesar la circulación pulmonar antes de desplazarse por los tejidos corporales de nuevo, una consecuencia común de la tromboflebitis es el desprendimiento de coágulos y la **embolia pulmonar,** que es una enfermedad potencialmente mortal. ▲

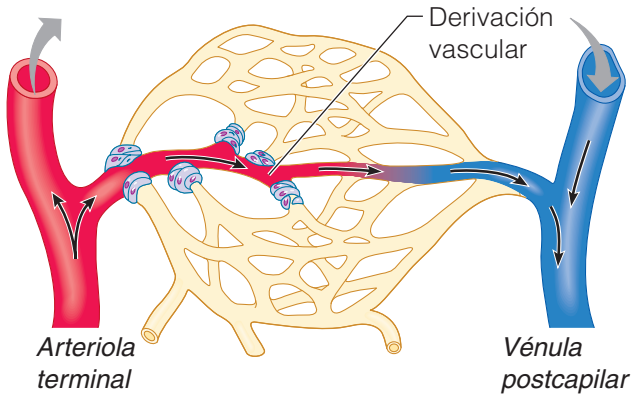
¿LO HAS ENTENDIDO?

10. Supón que estás observando un vaso sanguíneo por un microscopio. Posee una luz retorcida, una pared externa relativamente gruesa y una pared media relativamente fina. ¿De qué tipo de vaso sanguíneo se trata?

P *Suponiendo que el lecho capilar representado aquí se encuentra en el músculo bíceps braquial del brazo, ¿qué enfermedad se produciría en el lecho capilar (**a** o **b**) si estuvieses haciendo flexiones en el gimnasio?*



(a) Esfínteres abiertos



(b) Esfínteres cerrados

FIGURA 11.11 Anatomía de un lecho capilar. La derivación vascular evita los capilares verdaderos cuando se contraen los esfínteres precapilares que controlan la entrada de sangre a los capilares verdaderos.

11. Las arterias carecen de válvulas, pero las venas sí las poseen. ¿Cómo se relaciona esta diferencia estructural con la presión sanguínea?

12. ¿Cómo se relaciona la estructura de capilares con su función en el organismo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

R ***a,*** *los capilares verdaderos se llenan de sangre para nutrir a las células musculares activas.*

Anatomía general de los vasos sanguíneos

Las principales arterias de la circulación sistémica

La **aorta** es la mayor arteria del organismo y un vaso verdaderamente espléndido. En los adultos, la aorta tiene un tamaño aproximado de una manguera de jardín (con un diámetro interno casi igual al diámetro del pulgar) sale desde el ventrículo izquierdo del corazón. Sólo se reduce ligeramente en diámetro a medida que lo recorre hasta el final. Las distintas partes de la aorta se nombran según su ubicación o su forma. La aorta brota hacia arriba desde el ventrículo izquierdo del corazón como la **aorta ascendente,** se arquea a la izquierda como el **cayado de la aorta** y, a continuación, se hunde en el tórax, siguiendo la columna vertebral **(aorta torácica),** para pasar finalmente por el diafragma en la cavidad abdominopélvica, donde se convierte en la **aorta abdominal** (Figura 11.12).

Las principales ramas de la aorta y los órganos que nutren se encuentran secuencialmente cerca del corazón. La Figura 11.12 muestra el curso de la aorta y sus ramas principales. A medida que ubiques las arterias en la figura, intenta facilitar el aprendizaje. En muchos casos el nombre de la arteria indica la región corporal o los órganos que nutren (arteria renal, arteria braquial y arteria coronaria) o el hueso siguiente (arteria femoral y arteria cubital).

Ramas arteriales de la aorta ascendente

- Las únicas ramas de la aorta ascendente son las **arterias coronarias derecha (D.)** e **izquierda (I.),** que nutren el corazón.

Ramas arteriales del cayado de la aorta

- El **tronco braquiocefálico** (la primera rama que sale del cayado de la aorta) se divide en la **arteria carótida común D.** y la **arteria subclavia D.** (Véanse los vasos sanguíneos con el mismo nombre a la izquierda del cuerpo para saber los órganos que nutren).
- La **arteria carótida común I.** es la segunda rama del cayado de la aorta. Se divide formando la **carótida interna I.,** que nutre el cerebro, y la **carótida externa I.,** que nutre la piel y los músculos de la cabeza y el cuello.
- La tercera rama del cayado de la aorta, la **arteria subclavia I.,** sale de una importante rama, la **arteria vertebral,** que nutre parte del cerebro. En la axila, la arteria subclavia se convierte en la **arteria axilar** para luego continuar en el brazo como la **arteria braquial,** que nutre el brazo. En el codo, la arteria braquial se divide para formar las **arterias radial** y **cubital,** que nutren el antebrazo.

Ramas arteriales de la aorta torácica

- Las *arterias intercostales* (diez pares) nutren los músculos de la pared torácica. Otras ramas de la aorta torácica nutren los pulmones *(arterias bronquiales)*, el esófago *(arterias esofágicas)* y el diafragma *(arterias frénicas)*. Estas arterias no se representan en la Figura 11.12.

Ramas arteriales de la aorta abdominal

- El **tronco celiaco** es la primera rama de la aorta abdominal. Se trata de un solo vaso que posee tres ramas: (1) la **arteria gástrica I.** nutre el estómago, (2) la **arteria esplénica** nutre el bazo y (3) la **arteria hepática común** nutre el hígado.
- La **arteria mesentérica superior** despareada nutre la mayor parte del intestino delgado y la primera mitad del intestino grueso (o colon).
- Las **arterias renales** (D. e I.) nutren los riñones.
- Las **arterias gonadales** (D. e I.) nutren las gónadas. Se denominan *arterias ováricas* en las mujeres (nutren los ovarios) y *arterias testiculares* en los hombres (nutren los testículos).
- Las *arterias lumbares* (no aparecen en la Figura 11.12) son varios pares de arterias que nutren los músculos pesados del abdomen y las paredes del tronco.
- La **arteria mesentérica inferior** es una pequeña arteria despareada que nutre la segunda mitad del intestino grueso.
- Las **arterias ilíacas comunes** (D. e I.) son las ramas finales de la aorta abdominal. Cada una se divide en una **arteria ilíaca interna,** que nutre los órganos pélvicos (vejiga, recto, etc.), y una **arteria ilíaca externa,** que entra al muslo, donde se convierte en la **arteria femoral.** La arteria femoral y su rama, la **arteria profunda del muslo,** nutre el muslo. En la rodilla, la arteria femoral se convierte en la **arteria poplítea,** que luego se divide en las **arterias tibiales anterior** y **posterior,** que nutren la pierna y el pie. La arteria tibial anterior termina en la **arteria pedia dorsal,** que a través de la **arteria arqueada** nutre el dorso del pie. (La pedia dorsal a menudo se palpa en los pacientes con problemas de circulación en las piernas para determinar si la parte distal de la pierna tiene una circulación adecuada).

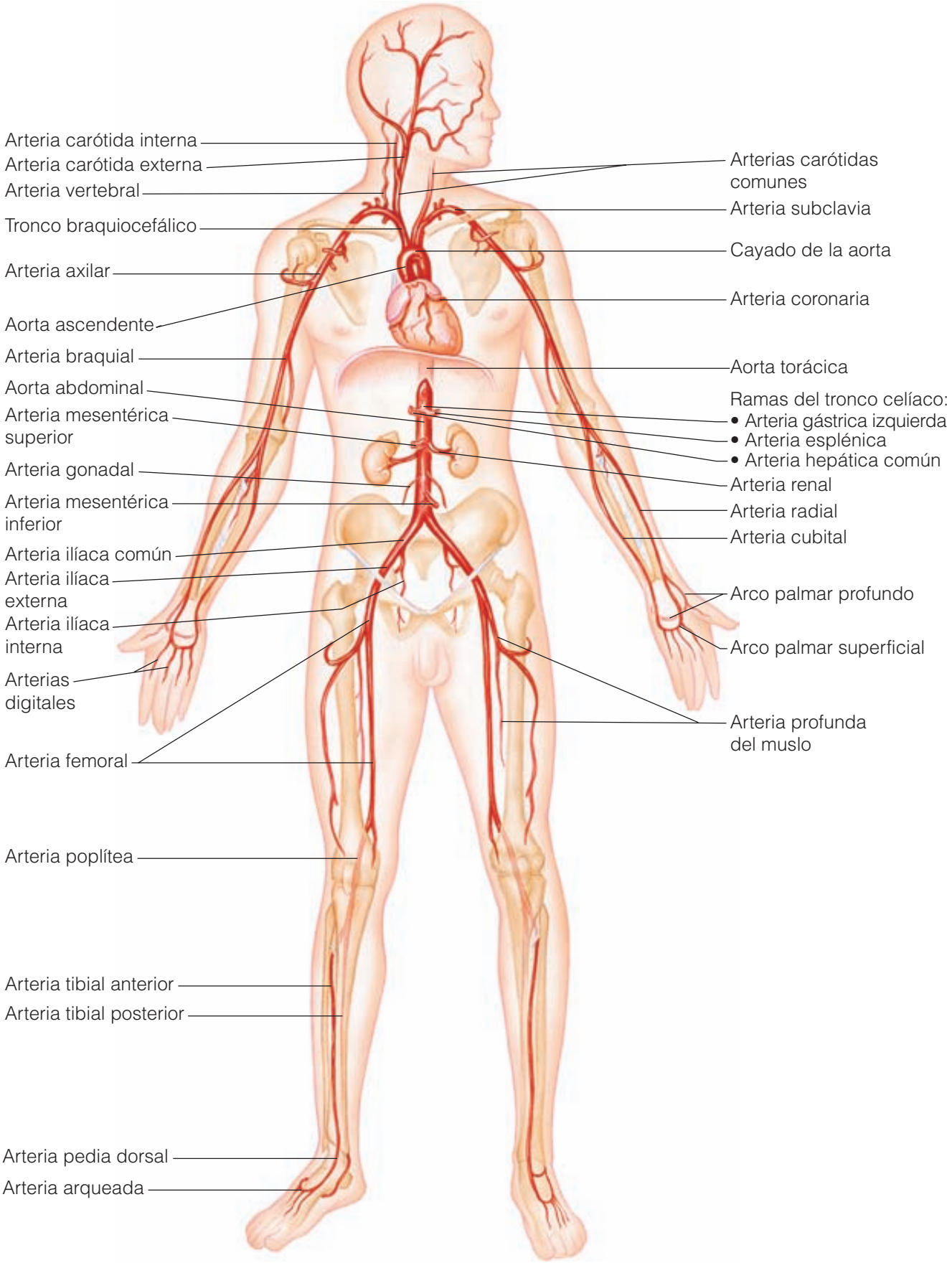


FIGURA 11.12 **Vista anterior de las principales arterias de la circulación sistémica.**

Las principales venas de la circulación sistémica

Aunque las arterias generalmente están ubicadas en las zonas del organismo profundas y bien protegidas, muchas venas son más superficiales y algunas pueden verse y palparse fácilmente en la superficie corporal. La mayoría de las venas profundas sigue el curso de las principales arterias y, con unas pocas excepciones, el nombre de estas venas es idéntico al de sus arterias complementarias. Las principales arterias sistémicas se ramifican hacia afuera de la aorta, mientras que las venas convergen en las venas cavas, que entran en la aurícula derecha del corazón. Las venas que drenan la cabeza y los brazos se vacían en la **vena cava superior,** y las que drenan la parte inferior del cuerpo se vacían en la **vena cava inferior.** Estas venas se describen a continuación y se representan en la Figura 11.13. Al igual que antes, sitúa las venas en la figura a medida que lees sus descripciones.

Venas que se drenan en la vena cava superior Las venas que se drenan en la vena cava superior se nombran en una dirección de distal a proximal; es decir, en la misma dirección que fluye la sangre en la vena cava superior.

- Las **venas radial** y **cubital** son profundas venas que drenan el antebrazo. Se unen para formar la profunda **vena braquial,** que drena el brazo y se vacía en la **vena axilar** de la región axilar.
- La **vena cefálica** proporciona el drenaje superficial de la parte lateral del brazo y se vacía en la vena axilar.
- La **vena basílica** es una vena superficial que drena la parte medial del brazo y se vacía en la vena braquial por su parte proximal. Las venas basílica y cefálica se unen en la parte anterior del codo mediante la **vena cubital mediana.** (La vena cubital mediana se elige a menudo como el sitio de extracción sanguínea en los análisis de sangre).
- La **vena subclavia** recibe sangre venosa del brazo a través de la vena axilar y desde la piel y los músculos de la cabeza a través de la **vena yugular externa.**
- La **vena vertebral** drena la parte posterior de la cabeza.
- La **vena yugular interna** drena los senos durales del cerebro.
- Las **venas braquiocefálicas** (D. e I.) son grandes venas que reciben un drenaje venoso desde las venas subclavia, vertebral y yugular interna en sus respectivos laterales. Las venas braquiocefálicas se unen para formar la vena cava superior, que entra en el corazón.
- La *vena ácigos* es una sola vena que drena el tórax y entra en la vena cava superior justo antes de unirse al corazón. (Esta vena no está representada en la Figura 11.13).

Venas que se drenan en la vena cava inferior La vena cava inferior, que es mucho más larga que la vena cava superior, devuelve la sangre al corazón desde todas las regiones del organismo que se encuentran por debajo del diafragma. Al igual que antes, se tratará el drenaje venoso desde la parte distal a la proximal.

- Las **venas tibiales anterior** y **posterior** y la **vena peronea** drenan la pierna (pantorrilla y pie). La vena tibial posterior se convierte en la **vena poplítea** en la rodilla y, a continuación, en la vena femoral en el muslo. La **vena femoral** se convierte en la **vena ilíaca externa** a medida que entra en la pelvis.
- Las **grandes venas safenas** son las más largas del organismo. Reciben el drenaje superficial de la pierna. Comienzan en el **arco venoso dorsal** del pie y suben a la parte medial de la pierna para vaciarse en la vena femoral del muslo.
- Cada **vena ilíaca común** (D. e I.) está formada por la unión de la **vena ilíaca externa** y la **vena ilíaca interna** (que drena la pelvis) en su propio lado. Las venas ilíacas comunes se unen para formar la vena cava inferior, que asciende después superiormente en la cavidad abdominal.
- La **vena gonadal D.** drena el ovario derecho en las mujeres y el testículo derecho en los hombres. (La **vena gonadal I.** se vacía en la vena renal izquierda de la parte superior). (Las venas gonadales no están representadas en la Figura 11.13).
- Las **venas renales** (D. e I.) drenan los riñones.
- La **vena portal hepática** es una sola vena que drena los órganos del tracto digestivo y transporta esta sangre a través del hígado antes de entrar en la circulación sistémica. (La circulación portal hepática se explica en la siguiente sección).
- Las **venas hepáticas** (D. e I.) drenan el hígado.

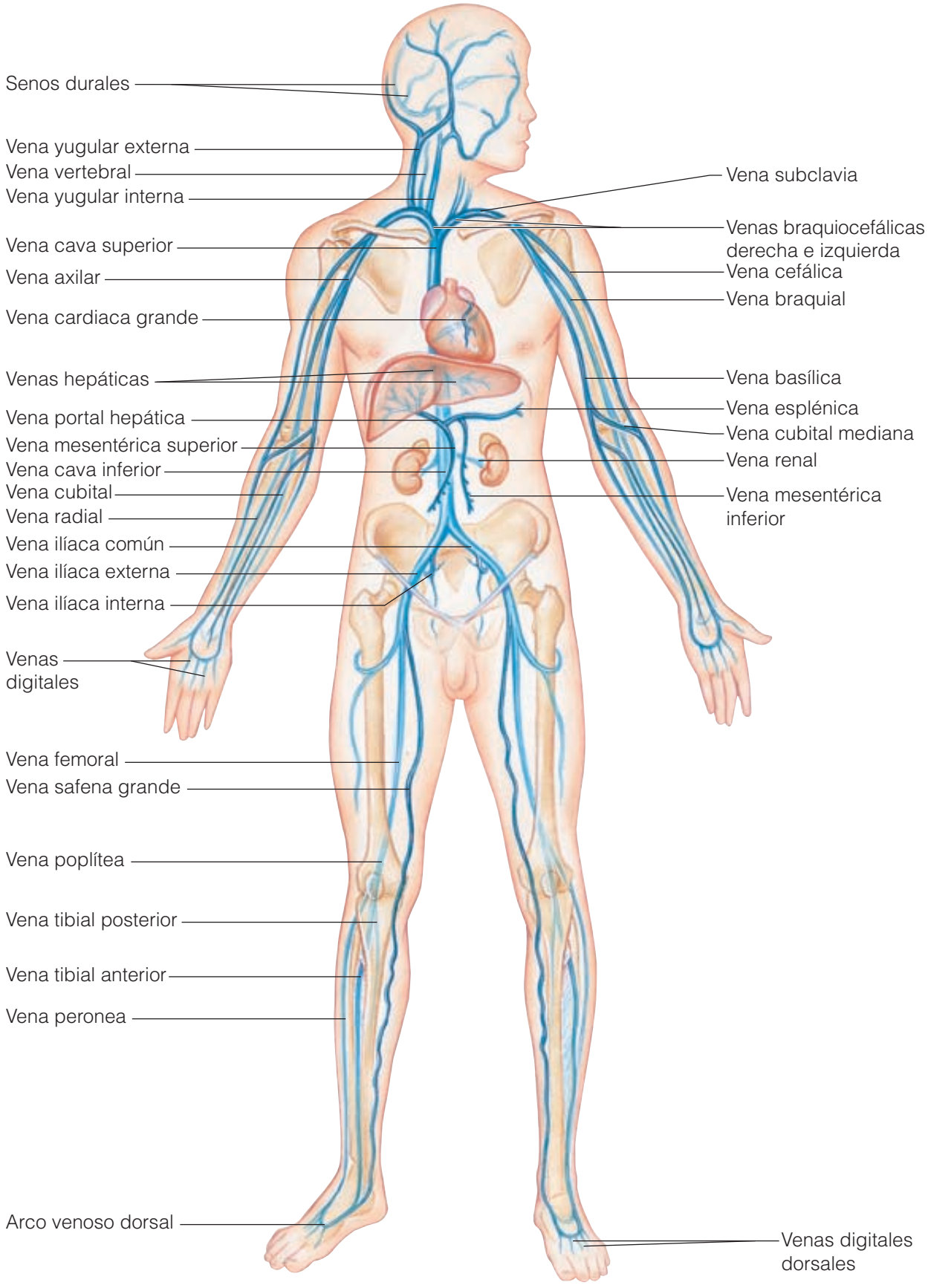


FIGURA 11.13 **Vista anterior de las principales venas de la circulación sistémica.** Los vasos de la circulación pulmonar no se ilustran, por lo que se representa un aspecto incompleto de la circulación desde el corazón.

orientación PROFESIONAL

TÉCNICOS QUIRÚRGICOS CERTIFICADOS

Los técnicos quirúrgicos utilizan sus conocimientos sobre anatomía para ayudar a los cirujanos en la sala de operaciones.

Preguntémosle a Ramón Martín qué se necesita para ser un buen técnico quirúrgico y aportará varias cualidades fundamentales. "Poner atención en los detalles es fundamental", afirma. "Hay que ser metódico, disciplinado y tener los nervios de acero. Hay mucho estrés en la sala de operaciones y los cirujanos están bajo una tremenda presión. Es necesario permanecer tranquilo y hacer bien nuestro trabajo para que los cirujanos puedan hacer el suyo".

Los técnicos quirúrgicos son profesionales de la salud especializados que trabajan bajo la supervisión de un cirujano. Garantizan que el entorno de la sala de operaciones sea seguro, que el equipo funcione correctamente y que los procedimientos se realicen con seguridad. Los técnicos quirúrgicos combinan sus conocimientos de anatomía, de procedimientos y herramientas quirúrgicos y de tecnología para facilitar el trabajo del médico en la sala de operaciones.

Martín afirma: "Mi principal trabajo es mantener estéril el entorno de la sala de operaciones. Empiezo el día preparando un campo estéril; es decir, abro cuidadosamente los instrumentos quirúrgicamente sellados y los dejo odenados fuera para preparar cada procedimiento. Intento anticipar todo lo que el cirujano necesitará durante la operación. Todo permanece estéril hasta el final del procedimiento, cuando ayudo al paciente en la camilla. Después de eso, organizo los instrumentos para descontaminarlos y quitarme la bata y los guantes quirúrgicos. Si peligra la esterilidad de este entorno, puede tener efectos devastadores si el paciente se contamina. La consecuencia más común es una infección por estafilococos; una infección por dicha bacteria es potencialmente mortal".

Otra parte importante del trabajo de Martín es anticiparse al siguiente movimiento del cirujano. "Soy los otros ojos y oídos del cirujano y tengo que estar alerta e ir un paso por delante todo el tiempo. Aquí es donde mi formación en anatomía es crucial, porque debo tener presentes los tejidos corporales que los cirujanos encontrarán a continuación. Por ejemplo, cuando trabajan en zonas con una gran cantidad de vasos sanguíneos, siempre tengo a mano un torniquete para detener las hemorragias. Además, hay muchos tipos de fórceps, unos con bordes lisos y otros con bordes dentados. Durante la incisión inicial, los cirujanos necesitan fórceps dentados porque manejan la piel con mayor eficacia. No obstante, después de que los cirujanos atraviesen la piel y entren en el cuerpo, debo asegurarme de pasarles sólo el de bordes lisos, porque el fórceps dentado podría perforar los órganos internos".

Los técnicos quirúrgicos deben realizar un programa de formación certificado, normalmente de 9 a 12 meses de duración, que incluya al menos 900 clases y horas en clínica. A continuación, deben aprobar un examen de certificación estatal para estar cualificados durante un periodo de seis años. Pueden renovar la certificación consiguiendo créditos de educación continuamente o volviendo a realizar el examen. Los procedimientos de acreditación difieren según el estado.

> *"Soy los otros ojos y oídos del cirujano… Aquí es donde mi formación en anatomía es crucial."*

Para obtener más información, ponte en contacto con la *Association of Surgical Technologists:*

7108-C South Alton Way
Englewood, CO 80112-2106
Teléfono: (303) 694-9130
FAX: (303) 694-9169
http://www.aamt.org

Si deseas obtener más información sobre esta profesión, haz clic en el vínculo **Focus on Careers** que aparece en la página www.anatomyandphysiology.com.

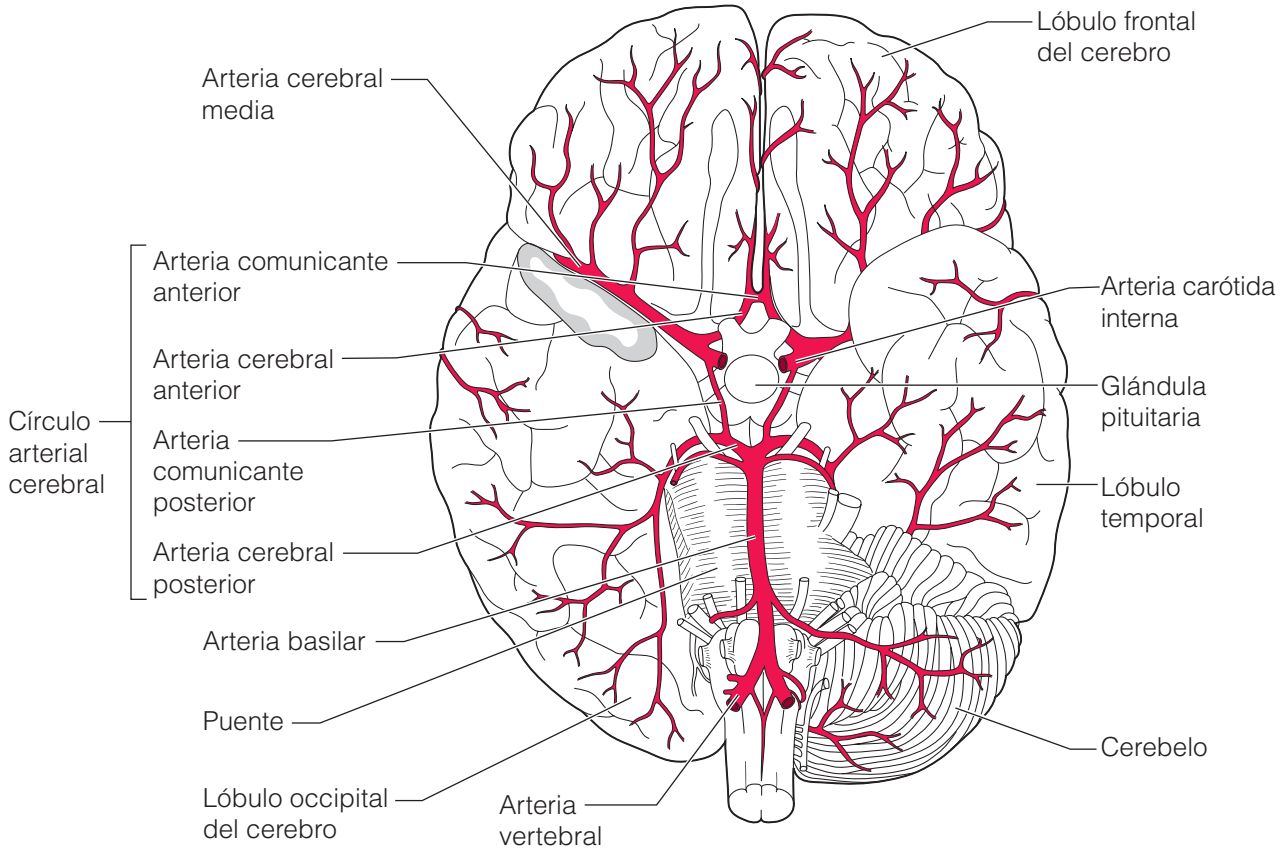


FIGURA 11.14 Suministro arterial del cerebro. (El cerebelo sólo se muestra en el lado izquierdo del cerebro).

Circulaciones especiales

El suministro arterial del cerebro y el polígono de Willis Puesto que la falta de sangre durante incluso unos cuantos minutos provoca la muerte de las delicadas células cerebrales, es crucial un continuo suministro sanguíneo en el cerebro. El cerebro se nutre mediante dos pares de arterias, las arterias carótidas internas y las arterias vertebrales (Figura 11.14).

Las **arterias carótidas internas,** ramas de las arterias carótidas comunes, recorren el cuello y entran al cráneo por el hueso temporal. Una vez dentro del cráneo, cada una se divide en las **arterias cerebrales anterior** y **media,** que nutren la mayor parte del cerebro.

Las **arterias vertebrales** pareadas suben desde las arterias subclavias en la base del cuello. En el cráneo, las arterias vertebrales se unen para formar una sola **arteria basilar.** Esta arteria nutre el tronco encefálico y el cerebelo a medida que sube. En la base del cerebro, la arteria basilar se divide para formar las **arterias cerebrales posteriores,** que nutren la parte posterior del cerebro.

Los suministros sanguíneos anterior y posterior del cerebro están unidos por pequeñas *ramas arteriales comunicantes.* El resultado es un círculo completo de vasos sanguíneos de conexión denominado **círculo arterial cerebral** o **polígono de Willis,** que rodea la base del cerebro. El círculo arterial cerebral protege el cerebro proporcionando más de una ruta para que la sangre alcance el tejido cerebral en caso de que se forme un coágulo o de que empeore el flujo sanguíneo en cualquier parte del sistema.

Circulación fetal Puesto que los pulmones y el sistema digestivo aún no funcionan en el feto, todos los intercambios de nutrientes, de excreciones y de gases se producen a través de la placenta. Los nutrientes y el oxígeno pasan de la sangre de la madre a la sangre del feto, y los desechos del feto se mueven en sentido contrario. Como se muestra en la Figura 11.15, el *cordón umbilical* contiene tres vasos sanguíneos: una **vena umbilical** grande y dos **arterias umbilicales** más pequeñas. La vena umbilical transporta sangre rica en nutrientes y oxígeno hasta el feto. Las arterias

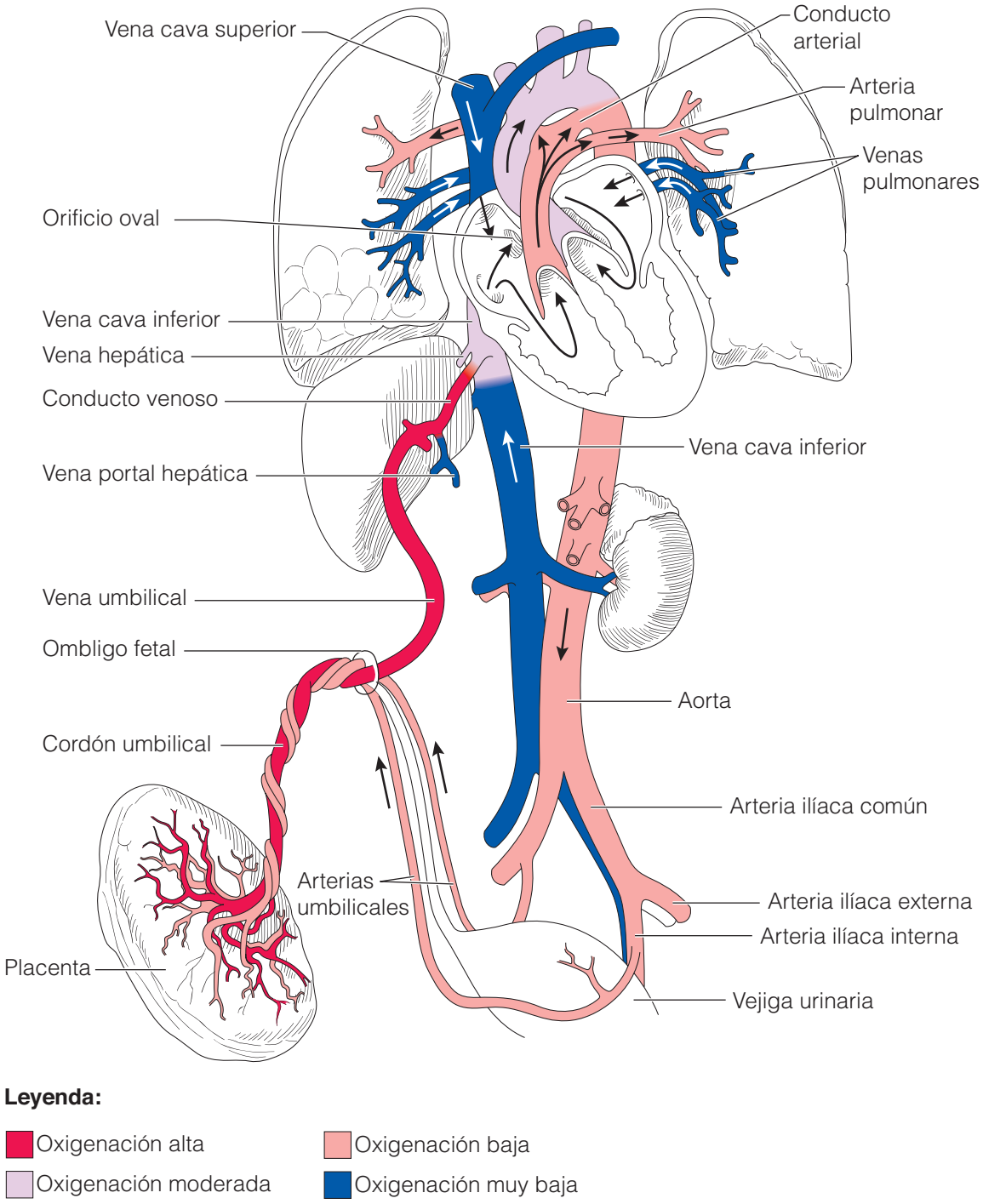


FIGURA 11.15 **Circulación fetal.**

umbilicales transportan el dióxido de carbono y la sangre cargada de desechos del feto a la placenta. A medida que la sangre fluye superiormente hacia el corazón del feto, la mayor parte de ella evita el hígado inmaduro a través del **conducto venoso** y entra en la vena cava inferior, que transporta la sangre hasta la aurícula derecha del corazón.

Puesto que los pulmones del feto no funcionan y se colapsan, dos derivaciones se ocupan de que se eviten casi por completo. Parte de la sangre que entra

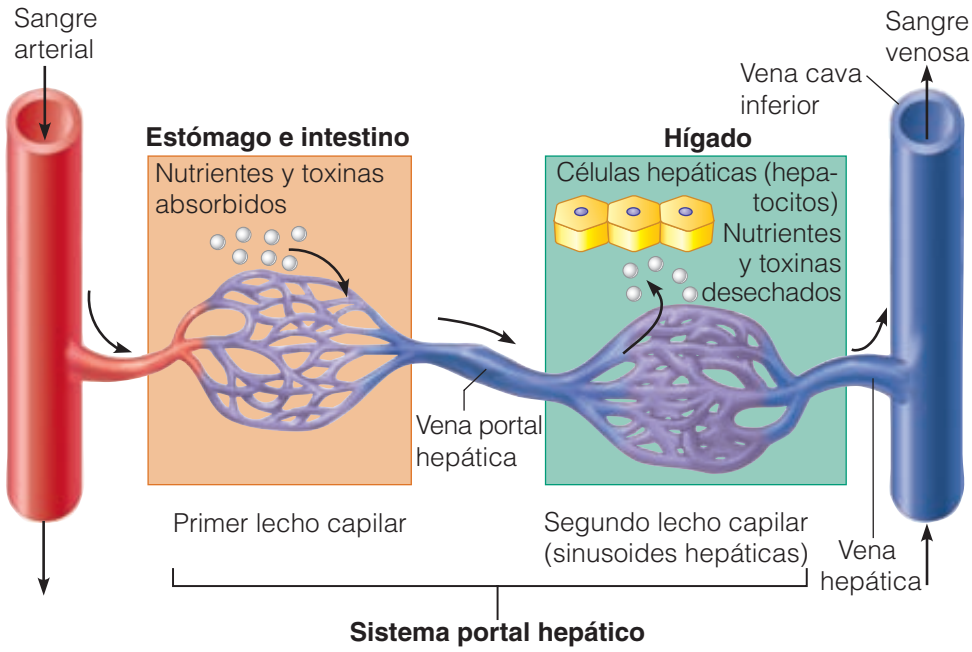


FIGURA 11.16 Esquema básico del sistema portal hepático y los vasos asociados. Fíjate en la presencia de dos lechos capilares en el sistema portal. Los nutrientes y las toxinas absorbidos de los capilares del estómago y el intestino son transportados hasta las células hepáticas para su procesamiento. Desde las sinusoides hepáticas, la sangre continúa hacia adelante por las venas hepáticas y la vena cava inferior.

en la aurícula derecha se deriva directamente a la aurícula izquierda a través del **orificio oval,** una abertura como un colgajo en el séptum interauricular. La sangre que se encarga de entrar en el ventrículo derecho se bombea hacia afuera al tronco pulmonar, donde se encuentra con una segunda derivación, el **conducto arterial,** un vaso corto que conecta la aorta y el tronco pulmonar. Debido a que los pulmones colapsados son una zona de gran presión, la sangre tiende a pasar a la circulación sistémica a través del conducto arterial. La aorta transporta sangre a los tejidos del cuerpo del feto y, por último, vuelve a la placenta mediante las arterias umbilicales.

Al nacer, o poco después, el agujero oval se cierra, y el conducto arterial se colapsa y se convierte en el **ligamento arterial** fibroso (véase la Figura 11.2a). Puesto que la sangre deja de fluir por los vasos umbilicales, éstos se destruyen y el modelo circulatorio se convierte en el de un adulto.

Circulación portal hepática Las **venas de la circulación portal hepática** drenan los órganos digestivos, el bazo y el páncreas, y distribuyen esta sangre hasta el hígado a través de la **vena portal hepática** (Figura 11.17). Justo después de comer, la sangre portal hepática contiene una gran cantidad de nutrientes. Puesto que el hígado es un órgano corporal fundamental para mantener las concentraciones de glucosa, grasas y proteínas adecuadas en la sangre, este sistema "da una vuelta" para garantizar que el hígado procesa estas sustancias antes de que éstas pasen a la circulación sistémica. A medida que la sangre fluye lentamente por el hígado, algunos de los nutrientes se extraen para almacenarse o procesarse de varias formas con el objeto de liberarse en la sangre más tarde. El hígado se drena mediante las venas hepáticas que entran en la vena cava inferior. Al igual que la circulación portal que conecta el hipotálamo del cerebro y la glándula pituitaria anterior (véase el Capítulo 9), la circulación portal hepática es una circulación única e inusual. Normalmente, las arterias nutren los lechos capilares que, a su vez, se drenan en las venas. Aquí se pueden observar venas que se nutren en la circulación hepática (Figura 11.16).

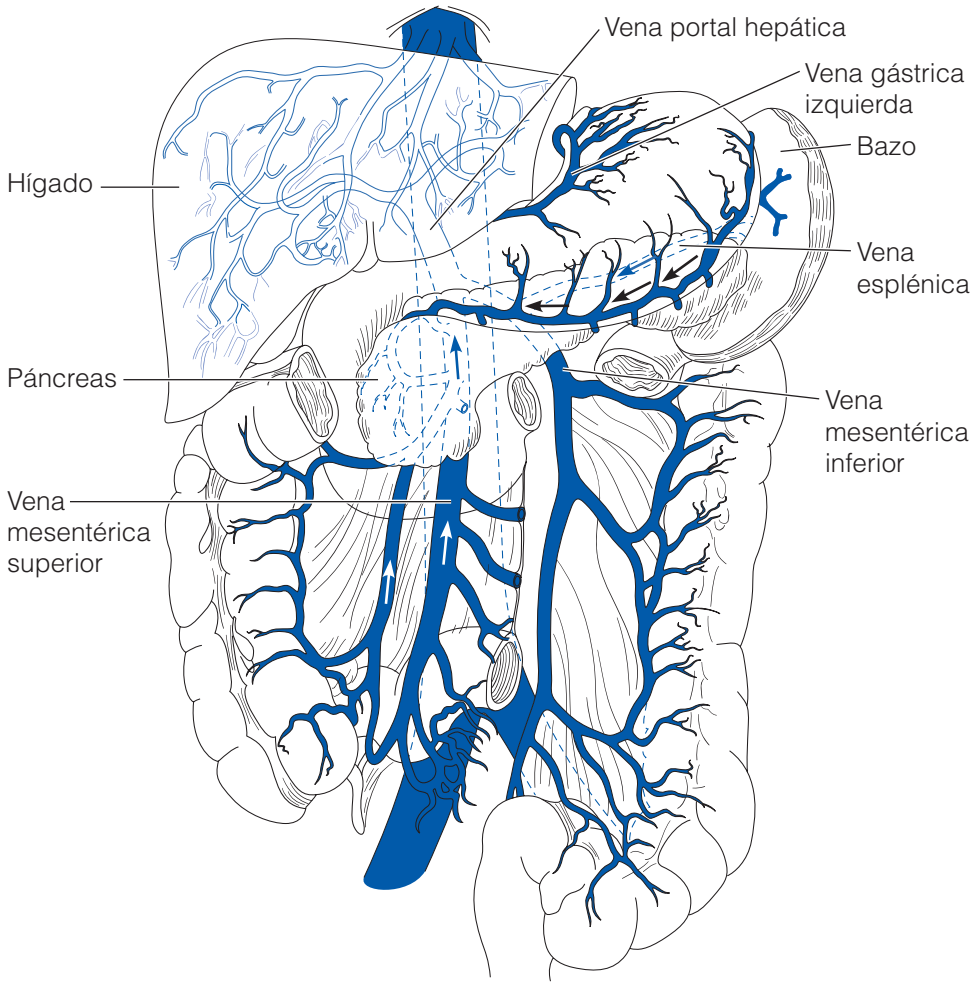


FIGURA 11.17 **Circulación portal hepática.**

Los principales vasos que componen la circulación portal hepática (Figura 11.17) incluyen las venas mesentéricas inferior y superior, la vena esplénica y la vena gástrica izquierda. La **vena mesentérica inferior,** que drena la parte terminal del intestino grueso, se drena en la **vena esplénica,** que drena el bazo, el páncreas y el lado izquierdo del estómago. La vena esplénica y la **vena mesentérica superior** (que drena el intestino delgado y la primera parte del colon) se unen para formar la vena portal hepática. La **vena gástrica I.,** que drena el lado derecho del estómago, se drena directamente en la vena portal hepática.

¿LO HAS ENTENDIDO?

13. ¿En qué parte del organismo se encuentran las arterias femoral, poplítea y arqueada?
14. ¿En qué parte del organismo se encuentran las venas axilar, cefálica y basílica?
15. ¿Qué vaso —la vena portal hepática, la vena hepática o la arteria hepática— posee el mayor contenido de nutrientes tras una comida?
16. ¿Qué dos diferencias importantes hay entre la circulación pulmonar y la circulación sistémica?
17. ¿Qué es el conducto venoso? ¿Y cuál es su función?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Fisiología de la circulación

Puede obtenerse una indicación bastante buena de la eficacia del sistema circulatorio de una persona midiendo el pulso arterial y la tensión arterial. Estas medidas, junto con las de la frecuencia respiratoria y la temperatura corporal, se denominan en conjunto **constantes vitales** en el ámbito médico.

Pulso arterial

La expansión y el retroceso alternantes de una arteria que se producen con cada latido del ventrículo izquierdo crea una onda de presión **(pulso)** que circula por todo el sistema arterial. Normalmente el pulso (oleadas de presión por minuto) es igual que la frecuencia cardiaca (latidos por minuto). El pulso medio oscila entre 70 y 76 latidos por minuto en una persona normal en reposo; depende de la actividad, de los cambios posturales y de las emociones.

Se puede notar el pulso en cualquier arteria que se encuentre cerca de la superficie corporal comprimiendo la arteria contra tejido firme; ésta es una forma sencilla de contar la frecuencia cardiaca. Puesto que es tan accesible, el punto en el que la arteria radial se acerca a la superficie en la muñeca (pulso radial) suele utilizarse para tomar el pulso, pero hay otros puntos del pulso arterial importantes desde el punto de vista médico (Figura 11.18). Debido a que estos mismos puntos se comprimen para detener el flujo sanguíneo en los tejidos distales en una hemorragia, también se denominan **puntos de presión.** Por ejemplo, si te haces un gran corte en la mano, puedes detener la hemorragia de algún modo comprimiendo la arteria braquial.

- Palpa cada uno de los puntos del pulso que se indican en la Figura 11.18 colocando las puntas de los primeros dos o tres dedos de una mano en la arteria sobre el lugar indicado. Comprime firmemente la arteria cuando empieces y afloja la presión ligeramente de inmediato. Fíjate, en cada caso, en la regularidad y en la relativa fuerza del pulso.

Tensión arterial

Cualquier sistema equipado con una bomba que fuerza líquido a través de una red de tubos cerrados funciona bajo presión, y cuanto más cerca esté la bomba, mayor será la presión. La **tensión arterial** es la presión que ejerce la sangre contra las paredes internas de los vasos sanguíneos y la fuerza que mantiene la sangre en circulación continuamente, incluso entre los latidos del corazón. A menos que se indique lo contrario, el término *tensión arterial* se entiende como la presión en las arterias sistémicas grandes cerca del corazón.

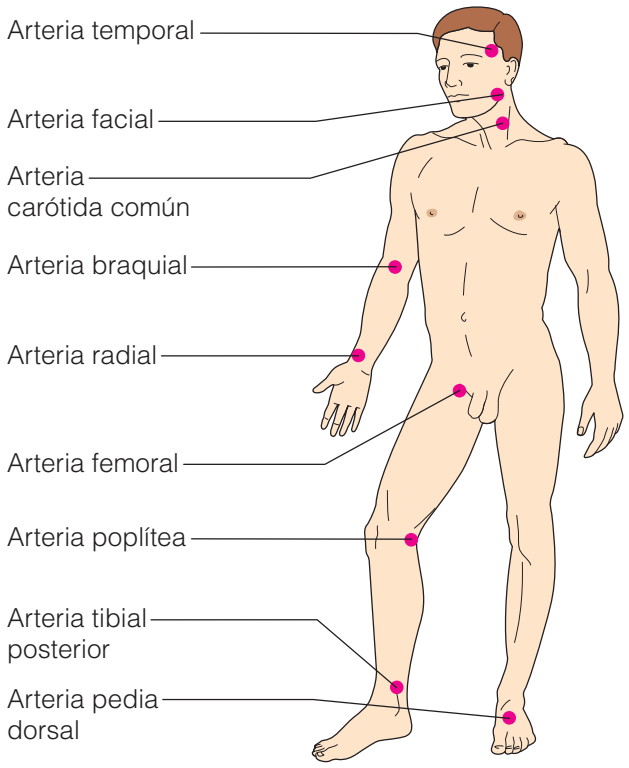


FIGURA 11.18 Puntos del cuerpo en los que el pulso se toma con mayor facilidad. (Las arterias específicas que se indican se explican en la pág. 378).

Gradiente de tensión arterial Cuando los ventrículos se contraen, fuerzan la sangre en las elásticas y grandes arterias de gruesas paredes cerca del corazón que se expanden a medida que se impulsa la sangre en ellas. La gran presión en estas arterias fuerza a la sangre a moverse continuamente en las zonas de menor presión. La presión es mayor en las arterias grandes y continúa disminuyendo a través de las vías sistémica y pulmonar, hasta llegar a cero o a una presión negativa en las venas cavas (Figura 11.19). Recuerda que la sangre fluye por las arterias más pequeñas; a continuación, por las arteriolas, los capilares, las vénulas, las venas y, finalmente, vuelve a las grandes venas cavas al entrar en la aurícula derecha del corazón. Fluye continuamente a lo largo de un gradiente de presión (de alto a bajo) a medida que realiza su circuito día tras día. Ten en cuenta que si el retorno venoso dependiese por completo de una tensión arterial alta en todo el sistema, la sangre probablemente nunca podría completar su circuito de vuelta al corazón. Éste es el motivo por el que las válvulas de las venas grandes, la actividad de presión de los músculos esqueléticos y los cambios de presión en el tórax son tan importantes.

P *¿En qué se relaciona la tensión arterial mediante pulsos de la parte izquierda del gráfico con la estructura de las grandes arterias?*

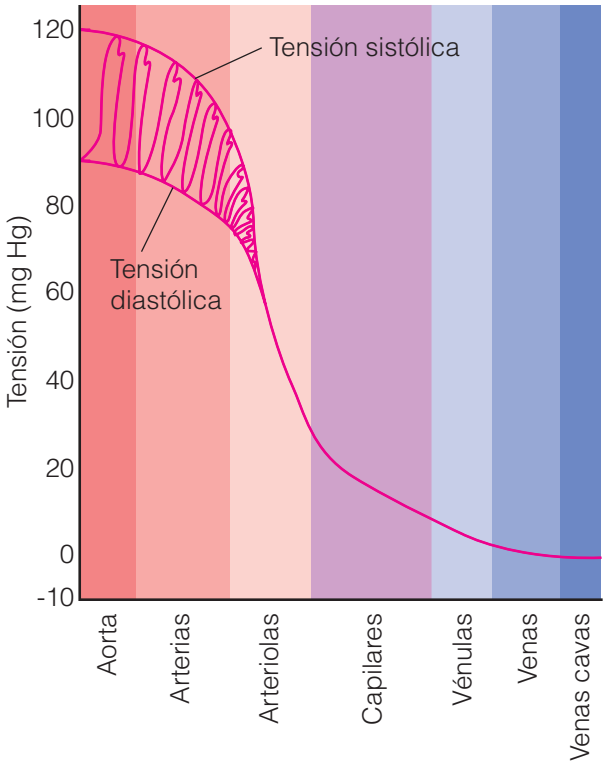


FIGURA 11.19 **Tensión arterial en varias zonas del sistema cardiovascular.**

Las diferencias de tensión entre las arterias y las venas se hacen muy patentes al cortar estos vasos. Si se corta una vena, la sangre fluye uniformemente desde la herida; una arteria lacerada produce rápidos borbotones de sangre.

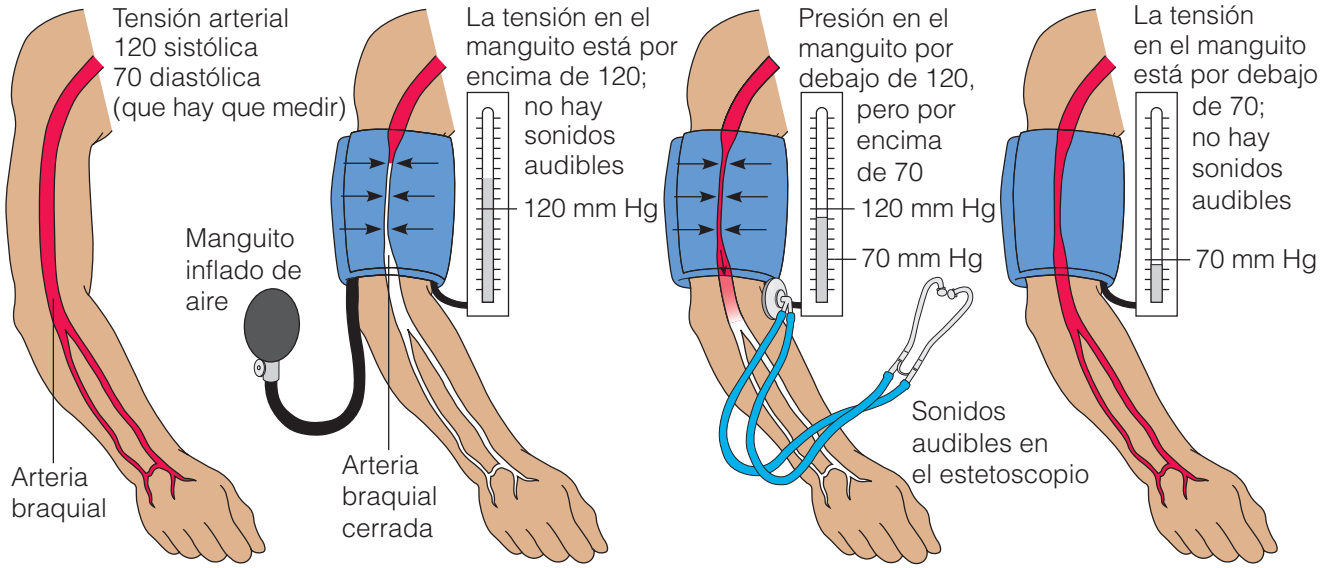
El flujo de sangre continuo depende por completo de la elasticidad de las arterias grandes y de su capacidad para recular y mantener la presión que ejercen en la sangre a medida que ésta fluye hacia atrás en la circulación. Piensa en una manguera de jardín con unas paredes relativamente duras. Cuando se abre la manguera, el agua sale a borbotones con una gran presión porque las paredes de la manguera no se expanden. Sin embargo, cuando la llave del agua se cierra de repente, el flujo de agua se detiene igual de abruptamente. El motivo es que las paredes de la manguera no pueden menguar para mantener la presión en el agua; por lo tanto, la presión disminuye y el flujo de agua se detiene. La importancia de la elasticidad de las arterias se aprecia mejor cuando se pierde, como sucede en la *arteriosclerosis*. La arteriosclerosis, también denominada "endurecimiento de las arterias", se explica en el cuadro "Más de cerca" de las págs. 392-393.

Medición de la tensión arterial Puesto que el corazón se contrae y relaja de forma alterna, el flujo hacia adelante y hacia atrás de la sangre en las arterias hace que la tensión arterial suba y baje en cada latido. Así, normalmente se realizan dos mediciones de la tensión arterial: la **tensión sistólica,** la presión de las arterias en el pico de contracción ventricular, y la **tensión diastólica,** la presión que se produce cuando se relajan los ventrículos. Las tensiones arteriales se indican en milímetros de mercurio (mm Hg), con la tensión sistólica en primer lugar; 120/80 (120 sobre 80) se traduce como una tensión sistólica de 120 mm Hg y una tensión diastólica de 80 mm Hg. Con mayor frecuencia, la tensión arterial sistémica se mide de forma indirecta mediante el método de **auscultación.** Este procedimiento, utilizado para medir la tensión arterial en la arteria braquial del brazo, se muestra y describe en la Figura 11.20.

Efectos de varios factores en la tensión arterial La tensión arterial (BP) está directamente relacionada con el gasto cardiaco (CO; la cantidad de sangre bombeada fuera del ventrículo izquierdo por minuto) y la resistencia periférica (PR). Esta relación se expresa mediante la ecuación BP = CO X PR. Ya hemos considerado la regulación del gasto cardiaco, así que aquí nos centraremos en la resistencia periférica.

La **resistencia periférica** es la cantidad de fricción que encuentra la sangre a medida que fluye por los vasos sanguíneos. Muchos factores aumentan la resistencia periférica, pero probablemente el más importante es el estrangulamiento (o estrechamiento) de los vasos sanguíneos, especialmente las arteriolas, como resultado de la actividad del sistema nervioso simpático o la aterosclerosis. El aumento de volumen sanguíneo o la reducción de la viscosidad de la sangre (espesor) también incrementan la resistencia periférica. Cualquier factor que aumente el gasto cardiaco o la resistencia periférica provoca un incremento reflejo casi inmediato de la tensión arterial. Muchos factores pueden alterar la tensión sanguínea: la edad, el peso, el momento del día, el ejercicio, la posición corporal, el es-

R *Revela su elasticidad. Cuando el corazón se contrae y fuerza el paso de la sangre por las arterias grandes cerca del corazón, éstas se estiran para adaptarse al aumento de volumen sanguíneo (tensión sistólica). A continuación, a medida que la sangre continúa por el circuito, sus paredes se contraen, manteniendo la presión de la sangre que continúa en movimiento (tensión diastólica).*



(a) Curso de la arteria braquial del brazo. Ten en cuenta que la tensión arterial de una persona joven y sana es de 120/70.

(b) El manguito de tensión arterial se coloca ajustándolo alrededor del brazo justo por encima del codo y se infla hasta que la presión del manguito supere la tensión arterial sistólica. En este punto, el flujo sanguíneo del brazo se detiene y el pulso braquial no se nota ni se oye.

(c) La presión en el manguito se reduce gradualmente mientras el facultativo escucha (ausculta) los sonidos de la arteria braquial con un estetoscopio. La presión que se detecta cuando se oyen los primeros golpecitos suaves (el instante en el que una pequeña cantidad de sangre pasa precipitadamente por la arteria contraída) se registra como la tensión sistólica.

(d) A medida que la tensión disminuye aún más, los sonidos se vuelven más audibles y se distinguen mejor; cuando la arteria deja de estar contraída y la sangre fluye libremente, dejan de oírse los sonidos. La tensión a la que desaparecen esos sonidos se registra como la tensión diastólica.

FIGURA 11.20 Medición de la tensión arterial.

tado emocional y varios fármacos, por nombrar algunos. La influencia de algunos de estos factores se explica a continuación.

1. **Factores neurales: el sistema nervioso autónomo.** La división parasimpática del sistema nervioso autónomo influye poco o nada en la tensión arterial, pero la división simpática es importante. La principal acción de los nervios simpáticos en el sistema vascular es provocar la **vasoconstricción** (o el estrechamiento de los vasos sanguíneos), que aumenta la tensión arterial. El centro simpático en la médula del cerebro se activa para provocar la vasoconstricción en muchas circunstancias distintas (Figura 11.21). Por ejemplo, al levantarnos repentinamente después de estar tumbados, el efecto de la gravedad hace que la sangre se estanque en los vasos de los pies y piernas, y que baje la tensión arterial. Esto activa los *presorreceptores* (también denominados *barorreceptores*) en las arterias grandes del cuello y el pecho. Emiten señales de advertencia que provocan la vasoconstricción reflexiva, lo que aumenta de nuevo la tensión arterial hasta los niveles homeostáticos.

Cuando el volumen sanguíneo se reduce de repente, como en las hemorragias, la tensión arterial cae y el corazón empieza a latir con mayor rapidez a medida que intenta compensarse. No obs-

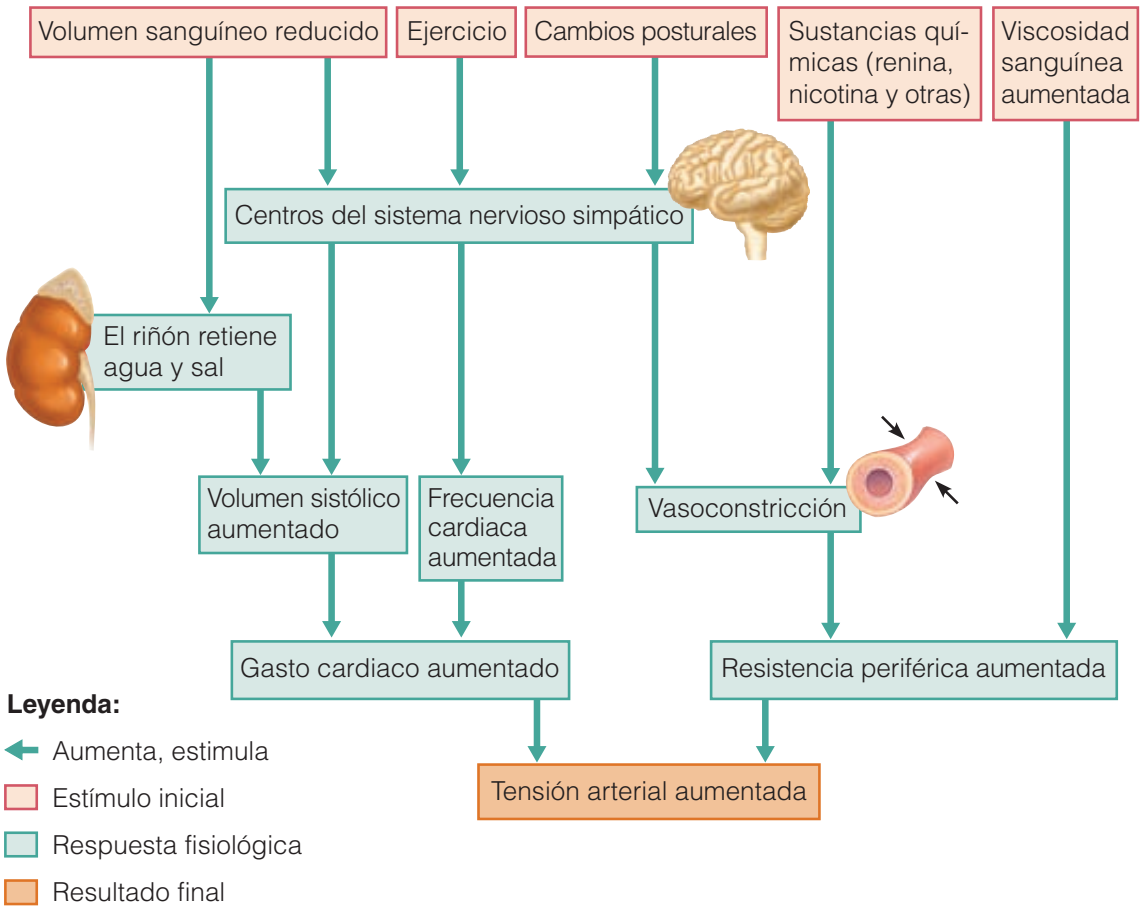


FIGURA 11.21 **Resumen de los factores que aumentan la tensión arterial.**

tante, puesto que la pérdida de sangre reduce el retorno venoso, el corazón también late débilmente y sin eficacia. En tales casos, el sistema nervioso simpático provoca una vasoconstricción para aumentar la tensión arterial de modo que (con suerte) aumente el retorno venoso y pueda continuar la circulación.

El ejemplo final afecta a la actividad del sistema nervioso simpático cuando hacemos ejercicio enérgicamente o estamos asustados y tenemos que escapar de forma precipitada. En estas condiciones, se produce una vasoconstricción generalizada excepto en los músculos esqueléticos. Los vasos de los músculos esqueléticos se dilatan para aumentar el flujo sanguíneo hasta los músculos que están trabajando. (Debe tenerse en cuenta que los nervios simpáticos nunca provocan la vasoconstricción de los vasos sanguíneos del corazón o del cerebro).

2. **Factores renales: los riñones.** Los riñones desempeñan una función principal en la regulación de la tensión arterial alterando el volumen sanguíneo. A medida que la tensión arterial (o el volumen sanguíneo) aumenta más de lo normal, los riñones permiten la salida de más agua del cuerpo en la orina. Puesto que la fuente de esta agua es el flujo sanguíneo, el volumen de sangre disminuye, lo que, a su vez, reduce la tensión arterial. Sin embargo, cuando baja la tensión arterial, los riñones retienen agua del organismo, de modo que aumentan el volumen sanguíneo y la tensión arterial (véase la Figura 11.21).

Asimismo, cuando la tensión arterial es baja, determinadas células renales liberan la enzima renina en la sangre. La renina activa una serie de reacciones químicas que forman *angiotensina II*, una potente sustancia química vasoconstrictora. La angiotensina también estimula la corteza suprarrenal para liberar aldosterona, una hormona que mejora

la reabsorción de iones de sodio en los riñones. A medida que el sodio se mueve en la sangre, el agua la sigue. Así, tanto el volumen sanguíneo como la tensión arterial aumentan.

3. **Temperatura.** En general, el frío tiene un efecto *vasoconstrictor*. Éste es el motivo por el que la piel expuesta siente frío en invierno y por el que se recomienda la aplicación de compresas frías para evitar que se hinchen las zonas con magulladuras. El calor tiene un *efecto vasodilatador,* y las compresas templadas se utilizan para acelerar la circulación de una zona inflamada.
4. **Sustancias químicas.** Los efectos de las sustancias químicas, muchas de las cuales son fármacos, se distribuyen en la tensión arterial y son bien conocidas en muchos casos. Pondremos unos cuantos ejemplos aquí. La **epinefrina** aumenta tanto la frecuencia cardiaca como la tensión arterial. La *nicotina* aumenta la tensión arterial provocando la vasoconstricción. Tanto el *alcohol* como la *histamina* provocan una vasodilatación y disminuyen la tensión arterial. La razón por la que una persona que "ha bebido de más" se pone roja es que el alcohol dilata los vasos cutáneos.
5. **Dieta.** Aunque las opiniones médicas tienden a cambiar y de vez en cuando resultan extrañas, en general se cree que una dieta baja en sal, grasas saturadas y colesterol ayuda a evitar la *hipertensión* (o la tensión arterial alta).

Variaciones en la tensión arterial En los adultos normales en reposo, la tensión sistólica varía entre 110 y 140 mm Hg, y la tensión diastólica, entre 70 y 80 mm Hg, pero la tensión arterial varía considerablemente de una persona a otra y cambia cada 24 horas (por las mañanas alcanza las cifras más elevadas). Lo que es normal para ti puede no serlo para tu abuelo o tu vecino. La tensión arterial varía con la edad, el peso, la raza, el estado de ánimo, la actividad física y la postura. Casi todas estas variaciones pueden explicarse en el ámbito de los factores que afectan a la tensión arterial que ya se han explicado.

La **hipotensión** (o tensión arterial baja) se considera generalmente una tensión arterial sistólica por debajo de 100 mm Hg. En muchos casos, simplemente refleja las diferencias de cada individuo y no es motivo de preocupación. De hecho, la tensión arterial baja es un resultado esperado del condicionamiento físico y a menudo se asocia con una vida larga y sin enfermedades en la vejez.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los ancianos pueden experimentar una tensión arterial baja y mareos temporalmente cuando se levantan de repente después de estar haber estado reclinados o sentados; una condición denominada **hipotensión ortostática.** Puesto que un sistema nervioso simpático envejecido reacciona de forma más lenta a los cambios posturales, la sangre se estanca brevemente en los miembros inferiores, lo que reduce la tensión arterial y, en consecuencia, la distribución de sangre hasta el cerebro. Realizar cambios posturales más despacio para darle tiempo al sistema nervioso para que pueda realizar los ajustes necesarios suele evitar este problema. ▲

La hipotensión crónica (que no se explica por el condicionamiento físico) puede indicar una mala nutrición y unos niveles inadecuados de proteínas en sangre. Debido a que la viscosidad de la sangre es baja, la tensión arterial también es menor de lo normal. La hipotensión aguda es una de las advertencias más importantes del **choque circulatorio,** una condición en la que los vasos sanguíneos se llenan de forma inadecuada y por los que la sangre no puede circular con normalidad. La causa más común es la pérdida de sangre.

Una breve elevación de la tensión arterial es una respuesta normal a la fiebre, el esfuerzo físico y las molestias emocionales, como el enfado y el miedo. La **hipertensión** persistente (o la **tensión arterial alta**) es patológica y se define como una enfermedad de una tensión arterial alta y sostenida de 140/90 o mayor.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La hipertensión crónica es una enfermedad común y peligrosa que advierte de una resistencia periférica incrementada. Aunque evoluciona sin síntomas durante los primeros 10-20 años, fuerza el corazón y daña las arterias lentamente. Por este motivo, la hipertensión a menudo se denomina el "asesino silencioso". Puesto que el corazón es forzado a bombear contra una mayor resistencia, debe trabajar con mayor intensidad y, con el tiempo, el miocardio se agranda. Cuando finalmente se fuerza más allá de su capacidad para responder, el corazón se debilita y sus paredes se vuelven flácidas. La hipertensión también causa estragos en los vasos sanguíneos, provocando pequeños rasguños en el endotelio que aceleran la evolución de la aterosclerosis.

Aunque la hipertensión y la aterosclerosis a menudo están relacionadas, es difícil culpar a la hipertensión de cualquier patología anatómica distintiva. De hecho, en torno al 90% de las personas con hipertensión presenta una **hipertensión primaria** o **esencial,** que no puede representarse mediante ninguna causa orgánica específica. Sin embargo, parece que influyen factores como la dieta, la obesidad, los antecedentes, la raza y el estrés. Por ejemplo, más mujeres

(continúa en la pág. 394)

MÁS DE CERCA

¿ATEROSCLEROSIS? ¡QUÉ SE ELIMINE LA OBSTRUCCIÓN CARDIOVASCULAR!

Cuando se obstruyen las tuberías, normalmente se debe a que algo que no deberías estar ahí las atasca; una masa grasienta o una bola de pelo (véase la foto superior). En cambio, cuando las arterias se estrechan por la **aterosclerosis** el proceso de contención se produce desde dentro hacia afuera: las paredes de los vasos se espesan y, a continuación, sobresalen a la luz de los vasos. Cuando esto sucede, no hace falta mucho para cerrar el vaso por completo. Un coágulo de sangre errante o los espasmos arteriales pueden hacerlo.

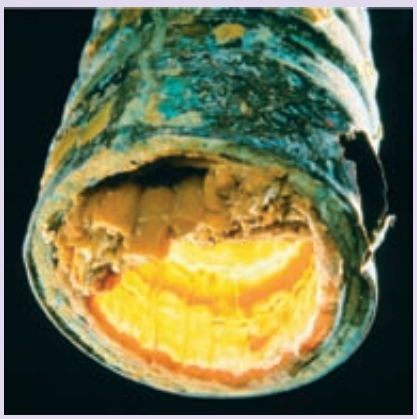
Aunque todos los vasos sanguíneos pueden presentar aterosclerosis, por alguna razón desconocida la aorta y las arterias coronarias que nutren el corazón son las que se ven afectadas con mayor frecuencia. La enfermedad pasa por muchas fases antes de que las paredes arteriales se endurezcan realmente y se aproximen a la fase del sistema de tubos rígidos descrita en el texto, pero algunas de las fases anteriores son igual de letales.

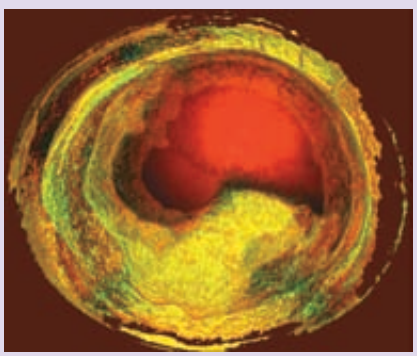
Brote y fases de la aterosclerosis

¿Qué desencadena este azote de vasos sanguíneos responsable indirectamente de la mitad de las muertes en Occidente? Según la *hipótesis de respuesta a las lesiones,* el suceso inicial es el daño en la túnica interna provocado por sustancias químicas que transporta la sangre, como el monóxido de carbono (presente en el humo del tabaco o en los gases de escape de los automóviles); por bacterias o virus; o por factores físicos como un soplo o hipertensión persistente. En cuanto se produce una ruptura, las plaquetas se aferran a la zona herida e inician la coagulación para evitar pérdidas de sangre. El endotelio dañado activa la alarma, invocando al sistema inmunológico y al proceso inflamatorio para reparar los daños. Si es una herida antigua, cuando se cura, se cura. No obstante, la mayoría de las placas crecen lentamente, mediante una serie de heridas que se curan, tan sólo para romperse

> *"Las arterias se estrechan por la aterosclerosis."*

de nuevo una y otra vez. A medida que crece la placa, las células endoteliales dañadas liberan agentes quimiotácticos que aumentan la permeabilidad del endotelio a las grasas y el colesterol, lo que les permite continuar su permanencia hasta la túnica íntima. Los monocitos atraídos a la zona migran por detrás del endotelio, donde se convierten en macrófagos que atracan en la grasa. Especialmente en las placas grasas, estas células pueden atracarse tanto de grasas oxidadas que se transforman en "células esponjosas" cargadas de lípidos que pierden su capacidad para actuar como depuradores. Pronto se unen mediante células de músculo liso que migran desde la parte media de la pared de los vasos sanguíneos. Estas células depositan colágeno y fibras de elastina en la zona y también absorben grasa, de modo que se convierten en células esponjosas. El resultado es la denominada **fase de estrías grasas,** caracterizada por el engrosamiento de la túnica íntima mediante lesiones grasas entre grises y amarillas denominadas **placas ateroscleróticas** o fibrosas. Cuando estos montoncitos grasos de músculo empiezan a sobresalir por la pared del vaso (y, por último, por la luz del vaso), la en-





Arriba Tubería atascada por depósitos acumulados.
Abajo Placas ateroscleróticas que casi cierran una arteria humana.

fermedad se denomina *aterosclerosis* (véase la foto de abajo).

La **arteriosclerosis** es la fase final de la enfermedad. A medida que las placas en aumento obstaculizan la difusión de nutrientes de la sangre a los tejidos más profundos de la pared arterial, las células del músculo liso de la túnica media mueren y las fibras elásticas se deterioran y son sustituidas gradualmente por tejido cicatrizante que no es elástico. A continuación, las sales cálcicas se depositan en las lesiones formando **placas complicadas.** En conjunto, estos sucesos hacen que la pared arterial se desgaste y ulcere, condiciones que fomentan la formación de trombos. La mayor rigidez de los vasos produce hipertensión. Juntos, estos sucesos aumentan el riesgo de infarto de miocardio, apoplejías y aneurismas.

Sin embargo, la creencia popular de que la mayoría de los ataques al corazón son consecuencia de un intenso estrechamiento y endurecimiento de los vasos está ahora en tela de juicio especialmente, ya que el 70% de los ataques al corazón se deben a obstrucciones mucho más pequeñas, demasiado pequeñas para verse en un arteriograma o para causar cualquier síntoma en la mayoría de los casos. Ahora parece que el sistema de defensa corporal lo revela. El proceso inflamatorio que se produce en las placas ricas en colesterol aún blandas e inestables cambia la biología de la pared del vaso y facilita la ruptura de las placas, desperdigando fragmentos que desencadenan coágulos masivos que pueden provocar ataques letales al corazón. La víctima parece perfectamente sana hasta que cae al suelo muerta.

Tratamiento y prevención

La *hipótesis de las placas vulnerables* mencionada con anterioridad ha atraído a muchos médicos, pero la cuestión de qué hacer con ella continúa ahí. Algunos centros médicos analizan a pacientes cardiacos en busca de niveles altos de colesterol y de proteína reactiva C, un marcador de inflamación. La CT de haz de electrones puede identificar a los individuos en riesgo detectando los depósitos cálcicos en sus arterias coronarias. Los antibióticos y fármacos antiinflamatorios se están analizando como medidas preventivas. Incluso la simple Aspirina® está ganando respeto, y cada vez más cardiólogos recomiendan que las personas con alto riesgo tomen una aspirina para bebés al día (81 mg).

Así que, ¿qué puede ayudar cuando el daño ya está hecho y el corazón corre riesgo debido a la existencia de vasos coronarios ateroscleróticos? En el pasado, la única opción era la cirugía de baipás de las arterias coronarias, en la que los vasos extraídos de las piernas o de la cavidad torácica se implantaban en el corazón para restablecer la circulación. Más recientemente, los dispositivos que se insertaban a través de los vasos sanguíneos hasta los puntos obstruidos se habían convertido en parte de la munición de la medicina cardiovascular. La *angioplastia de balón* utiliza un catéter con un balón en la punta. Cuando el catéter llega hasta la obstrucción, el balón se infla y la masa grasa se comprime contra la pared del vaso. Sin embargo, este procedimiento resulta útil para limpiar únicamente las obstrucciones muy localizadas. Un dispositivo de catéter más moderno utiliza un haz láser para vaporizar los coágulos arteriales. Aunque estos dispositivos intravasculares son más rápidos, más económicos y menos arriesgados que la cirugía de baipás, sí incluyen los principales defectos: no hacen nada para detener la enfermedad subyacente, y con el tiempo aparecen nuevas obstrucciones en el 30-50% por ciento de los casos.

Cuando un coágulo de sangre se detiene en las paredes del caso enfermo, la respuesta puede ser un *agente disolvente de coágulos*, por ejemplo, el *activador del plasminógeno tisular (t-PA)*, una sustancia natural que en la actualidad se está produciendo mediante técnicas de ingeniería genética. La inyección directa de t-PA en el corazón restablece el flujo sanguíneo rápidamente y termina con gran velocidad con muchos ataques al corazón en evolución.

Hay pocas dudas sobre el hecho de que el estilo de vida (el estrés emocional, la condición de fumador, la obesidad, las dietas ricas en grasas y colesterol, así como la falta de ejercicio) contribuye a la aparición de la aterosclerosis y de la hipertensión. Si éstos son factores de riesgo (y, de hecho, lo son), entonces, ¿por qué no se cambia simplemente el estilo de vida de los pacientes con riesgo? Esto no es tan sencillo como parece. Aunque el aporte de antioxidantes (vitaminas E y C y de betacaroteno) y un mayor ejercicio pueden "deshacer" algunos de estos daños, los antiguos hábitos son difíciles de erradicar, y a los estadounidenses les gustan sus hamburguesas y su mantequilla. ¿Puede revertirse la aterosclerosis para proporcionar una vida más larga y sana al corazón? Si es así, puede que muchas más personas con las arterias enfermas estén más dispuestas a cambiar sus hábitos de siempre para tener una vejez sana.

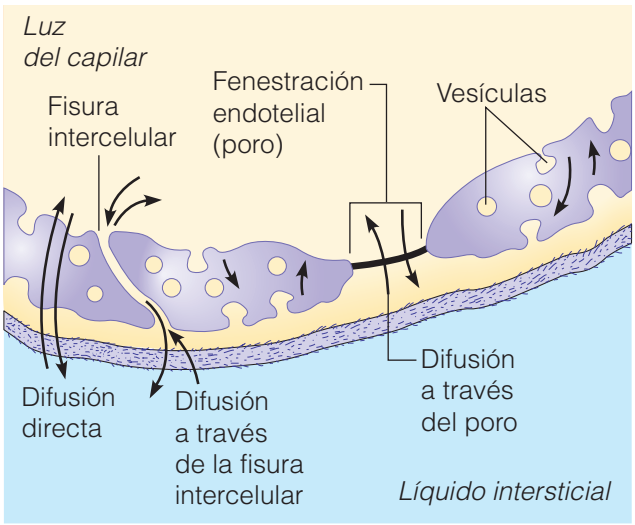


FIGURA 11.22 Mecanismos de transporte capilar. Las cuatro vías o rutas posibles de transporte a través de la pared de la célula endotelial de un capilar. (La célula endotelial se representa cortada transversalmente).

que hombres y más negros que blancos son hipertensos. La hipertensión es hereditaria. El hijo de unos padres hipertensos tiene el doble de posibilidades de desarrollar una tensión arterial alta que el niño de unos padres con una tensión arterial normal. La tensión arterial alta es común en las personas obesas porque la longitud total de sus vasos sanguíneos es relativamente mayor que la de los individuos más delgados. Por cada 450 gramos de grasa, se necesitan miles de vasos sanguíneos adicionales, lo que obliga al corazón a trabajar con más intensidad para bombear la sangre a distancias mayores. ▲

Intercambio capilar de gases y nutrientes

Los capilares forman una red tan intrincada entre las células corporales que ninguna sustancia tiene que difundirse mucho para entrar a una célula o salir de ésta. Las sustancias que se intercambian en primer lugar se difunden a través de un espacio intermedio lleno de **líquido intersticial (líquido tisular).**

Las sustancias tienden a moverse hacia y desde las células del organismo según sus gradientes de concentración. Así, el oxígeno y los nutrientes salen de la sangre y entran en las células de tejido, y el dióxido de carbono y otros desechos salen de las células tisulares y entran en la sangre. Básicamente, las sustancias que entran en la sangre o salen de ésta pueden tomar una de las cuatro rutas a través de las membranas plasmáticas de la capa de células endoteliales que forman la pared capilar (Figura 11.22).

1. Al igual que sucede con todas las células, las sustancias pueden difundirse directamente a través de sus membranas plasmáticas si las sustancias son liposolubles (como los gases respiratorios).
2. Determinadas sustancias lipoinsolubles pueden entrar en la sangre, salir de ésta o pasar a través de las membranas plasmáticas de las células endoteliales en las vesículas, es decir, mediante la endocitosis o exocitosis.

La difusión de sustancias mediante las otras dos rutas depende de las características estructurales específicas (y la permeabilidad) del capilar.

3. El paso limitado del líquido y pequeñas soluciones se realiza a través de las **fisuras intercelulares** (huecos o zonas de membrana plasmática que no están unidas por estrechos empalmes). Es seguro decir que, a excepción de los capilares cerebrales), que están completamente unidos por estrechos empalmes (la base de la barrera cerebral sanguínea descrita en el Capítulo 7), la mayoría de nuestros capilares presenta fisuras intercelulares.
4. Las vías libres de pequeñas soluciones y líquidos son posibles mediante los *capilares fenestrados*. Estos capilares únicos se encuentran donde la absorción es prioritaria (capilares intestinales o capilares que nutren las glándulas endocrinas) o donde se produce la filtración (el riñón). Una fenestra es un poro (*fenestra* = ventana) o abertura ovalado y normalmente está cubierta por una delicada membrana (véase la Figura 11.22). Incluso así, una fenestra es mucho más permeable que otras zonas de la membrana plasmática.

Sólo se evita que salgan de los capilares (o entren en ellos) las sustancias incapaces de pasar por una de estas rutas. Entre éstas se incluyen las moléculas de proteína (en el líquido plasmático o intersticial) y las células sanguíneas.

Movimientos de los líquidos en los lechos capilares

Además de los intercambios realizados mediante las vesículas y mediante la difusión pasiva a través de las membranas plasmáticas de las células endoteliales de los capilares, las ranuras o las fenestraciones, hay fuerzas activas que funcionan en los lechos capilares. Debido a sus ranuras intercelulares y fenestraciones, algunos capilares presentan escapes y la mayor parte del líquido fluye por sus membranas plasmáticas. Por lo tanto, la tensión arterial tiende a forzar el líquido (y las soluciones) fuera de los capilares, y la presión osmótica tiende a atraer el líquido dentro de ellos porque la sangre posee una concentración de disolución mayor (debido a sus proteínas plasmáticas) que el líquido intersti-

cial. Si el fluido sale de un capilar o entra en él, depende de la diferencia entre las dos presiones. Como regla general, la tensión arterial es mayor que la presión osmótica en el extremo arterial del lecho capilar e inferior que la presión osmótica en el extremo venoso. En consecuencia, el líquido sale de los capilares al principio del lecho y se recoge en el extremo contrario (vénula) (Figura 11.23). Sin embargo, no todo el líquido que se fuerza a salir de la sangre se recoge en el extremo venular. La recuperación del líquido perdido a la sangre es responsabilidad del sistema linfático, que se explica en el Capítulo 12.

¿LO HAS ENTENDIDO?

18. ¿Qué arteria se palpa en la muñeca? ¿Y en la ingle? ¿Y en el lado del cuello?
19. ¿Cómo cambia la tensión arterial a lo largo de la ruta de la circulación sistémica?
20. ¿Cómo afectan las hemorragias a la tensión arterial? ¿Por qué?
21. ¿Sería de esperar que el líquido entrase en los capilares o saliese de éstos en el extremo venoso de un lecho capilar?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Formación y desarrollo del sistema cardiovascular

El corazón comienza como un simple tubo en el embrión. Está latiendo y bombeando sangre atareadamente a la cuarta semana de embarazo. Durante las tres semanas siguientes, el corazón continúa cambiando y madurando, hasta convertirse finalmente en una estructura de cuatro cámaras capaz de actuar como una bomba doble; todo sin perder un solo latido. Durante la vida fetal, los pulmones colapsados y el hígado que no funciona son en su mayor parte evitados por la sangre, mediante una derivación vascular especial. Tras la séptima semana de desarrollo, se producen pocos cambios aparte del crecimiento en la circulación fetal hasta el nacimiento. Poco después del nacimiento, las estructuras evitadas se bloquean, y los vasos umbilicales especiales dejan de funcionar.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los defectos congénitos del corazón representan en torno a la mitad de las muertes de bebés debidas a todos los defectos congénitos. Las interferencias del entorno, como la infección materna y los fármacos ingeridos durante

Supón que hay una infección bacteriana en el líquido intersticial. ¿Cómo afectaría esto a los flujos de líquido a través de las paredes capilares de la zona?

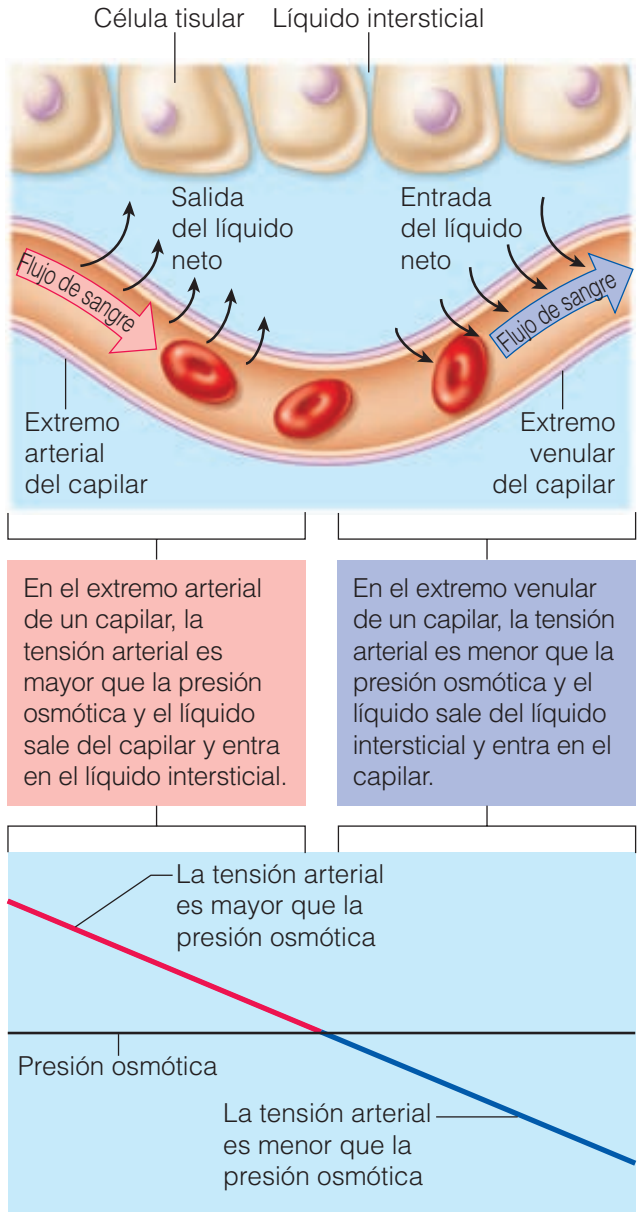
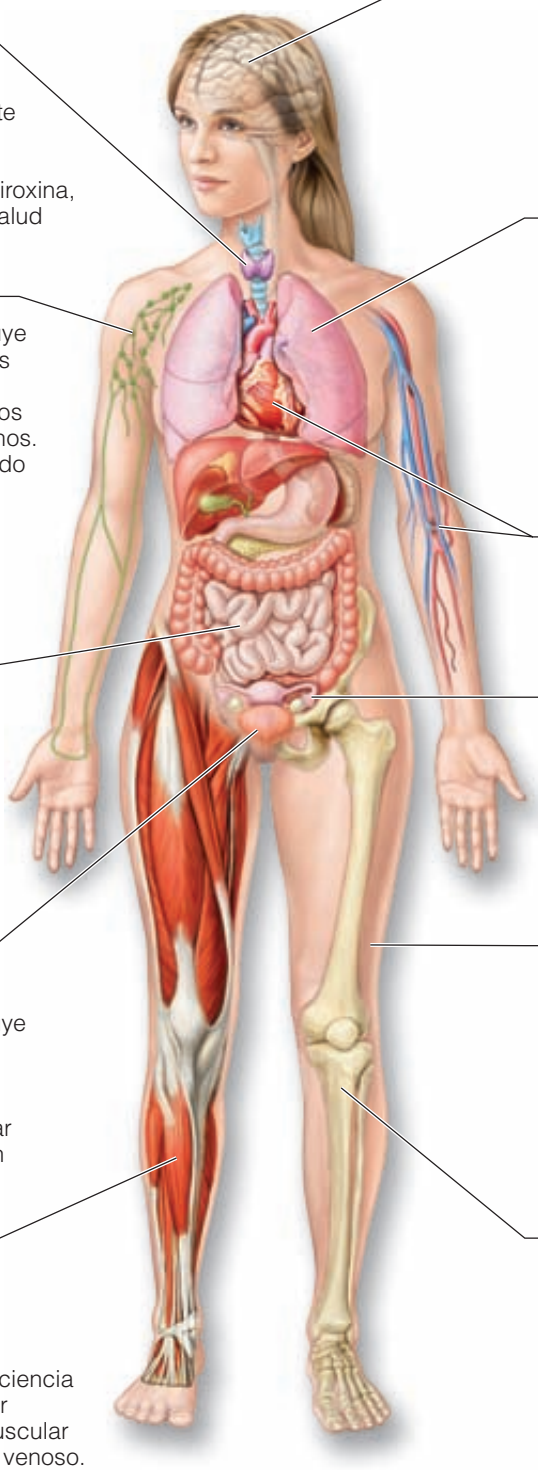


FIGURA 11.23 El flujo de la mayor parte del líquido a través de las paredes capilares depende en gran medida de la diferencia entre la tensión arterial y la presión osmótica en las distintas regiones del lecho capilar.

Los incrementaría porque la presión osmótica del líquido intersticial aumentaría a medida que las moléculas inflamatorias y los desechos se acumulasen en la zona.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL
SISTEMA CARDIOVASCULAR *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema endocrino

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos; la sangre actúa como vehículo de transporte de hormonas.
- Algunas hormonas influyen en la tensión arterial (epinefrina, ANP, tiroxina, ADH); el estrógeno mantiene la salud vascular en las mujeres.

Sistema linfático/inmunidad

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes a los órganos linfáticos, que alojan las células inmunológicas; transporta linfocitos y anticuerpos; se lleva los desechos.
- El sistema linfático recoge el líquido que se pierde y las proteínas plasmáticas y los devuelve al sistema cardiovascular; sus células inmunológicas protegen a los órganos cardiovasculares de patógenos específicos.

Sistema digestivo

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos.
- El sistema digestivo proporciona nutrientes a la sangre, incluyendo hierro y vitaminas B esenciales para la formación de RBC (y hemoglobina).

Sistema urinario

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos; la tensión arterial mantiene la función renal.
- El sistema urinario ayuda a regular el volumen sanguíneo y la tensión arterial alternado el volumen de orina y liberando renina.

Sistema muscular

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos.
- El ejercicio aeróbico mejora la eficiencia cardiovascular y ayuda a prevenir la arteriosclerosis; la "bomba" muscular ayuda a que se realice el retorno venoso.

Sistema nervioso

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; elimina los desechos.
- Los ANS regulan la frecuencia y fuerza cardiacas; la división simpática mantiene la tensión arterial y controla la distribución de sangre según las necesidades.

Sistema respiratorio

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos.
- El sistema respiratorio realiza el intercambio gaseoso: carga oxígeno y descarga dióxido de carbono de la sangre; la "bomba" respiratorio ayuda a realizar el retorno venoso.

Sistema cardiovascular

Sistema reproductor

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos.
- El estrógeno mantiene la salud vascular en las mujeres.

Sistema integumentario

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes; se lleva los desechos.
- Los vasos sanguíneos de la piel proporcionan una importante reserva de sangre y un punto de pérdida de calor corporal.

Sistema esquelético

- El sistema cardiovascular distribuye oxígeno y nutrientes y se lleva los desechos.
- Los huesos son los puntos de hematopoyesis; protegen los órganos cardiovasculares rodeándolos; proporcionan un depósito de calcio.

los primeros tres meses de embarazo (cuando se está formando el corazón embrionario), parecen ser las causas principales de tales problemas. Los defectos cardiacos congénitos pueden ser un conducto arterial que no cierra, aberturas en tabiques y otras anomalías estructurales del corazón. Tales problemas suelen poder corregirse quirúrgicamente. ▲

Si se carece de problemas cardiacos congénitos, el corazón suele funcionar uniformemente durante una larga vida en la mayoría de las personas. Los mecanismos homeostáticos son tan eficaces que rara vez se es consciente de las veces en que el corazón trabaja con mayor intensidad. El corazón se hipertrofiará y su gasto cardiaco aumentará sustancialmente al realizar ejercicio de forma regular y de forma aeróbica (es decir, lo suficientemente enérgico como para forzarlo a latir a un ritmo mayor que el normal durante largos periodos de tiempo). El corazón no sólo se convierte en una bomba más potente, sino más eficaz: el pulso y la tensión arterial disminuyen. Un beneficio añadido del ejercicio aeróbico es que elimina los depósitos de grasa de las paredes de los vasos sanguíneos, lo que ayuda a ralentizar la evolución de la aterosclerosis. Sin embargo, hay que tener precaución: la persona que juega al tenis o esquía una vez al mes o una vez al año no ha desarrollado este tipo de resistencia y fortaleza. Cuando tales individuos fuerzan demasiado el corazón, puede que éste no pueda hacer frente a una demanda tan repentina. Éste es el motivo por el que muchos deportistas de fines de semana son víctimas de infartos de miocardio.

A medida que nos hacemos mayores, empiezan a aparecer más y más síntomas de problemas en el sistema cardiovascular. En algunos, se debilitan las válvulas venosas y aparecen venas varicosas serpenteantes y de color morado. No todo el mundo posee venas varicosas, pero todos presentamos una aterosclerosis progresiva. Algunos afirman que el proceso empieza al nacer y hay un antiguo dicho que reza: "Tenemos la edad de nuestras arterias", haciendo referencia a este proceso degenerativo. La pérdida gradual de elasticidad en los vasos sanguíneos provoca hipertensión y cardiopatía hipertensa. El insidioso llenado de los vasos sanguíneos con depósitos grasos calcificados provoca más comúnmente **enfermedad coronaria.** Asimismo, como se describe en el Capítulo 10, el hecho de que las paredes de los vasos se vuelvan más ásperas fomenta la formación de trombos. Al menos el 30% de la población de Estados Unidos presenta hipertensión a los 50 años, y las enfermedades cardiovasculares provocan más de la mitad de las muertes en personas de más de 65 años. Aunque el proceso de envejecimiento propiamente dicho contribuye a los cambios que se producen en las paredes de los vasos sanguíneos que pueden causar apoplejías o infartos de miocardio, la mayoría de los investigadores opina que la dieta, no el envejecimiento, es el factor más importante que contribuye a desarrollar enfermedades cardiovasculares. Todos coinciden en que el riesgo se reduce si las personas comen menos grasa animal, colesterol y sal. Otras recomendaciones incluyen evitar el estrés, eliminar el humo del tabaco y realizar ejercicio moderado con regularidad.

RESUMEN

Las herramientas de información mediática que proporcionan una revisión adicional de los temas principales del Capítulo 11 se indican a continuación.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

El corazón (págs. 362-374)

1. El corazón, situado en el tórax, está flanqueado por los pulmones y encerrado en un pericardio.
2. El corazón (miocardio) está formado por músculo cardiaco. El corazón presenta cuatro cámaras con orificios; dos aurículas (cámaras de recepción) y dos ventrículos (cámaras de descarga), cada una de las cuales rodeada de endocardio. El corazón se divide longitudinalmente por un séptum.

   WEB Actividad: Chapter 11, External Anatomy of the Heart.

   IP Cardiovascular System Topic: Anatomy Review: The Heart, pp. 3-5.

3. El corazón funciona como una doble bomba. El corazón derecho es la bomba pulmonar (del corazón derecho a los pulmones y de ahí al corazón izquierdo). El corazón izquierdo es la bomba sistémica (del corazón izquierdo a los tejidos corporales y de ahí al corazón derecho).
4. Cuatro válvulas evitan el retroflujo de la sangre en el corazón. Las válvulas AV (mitral y tricúspide) evitan el retroflujo en las aurículas cuando se contraen los ventrículos. Las válvulas semilunares evitan el retroflujo en los ventrículos cuando el corazón está relajado. Las válvulas se abren y cierran en respuesta a los cambios de presión en el corazón.

   WEB Actividad: Chapter 11, Frontal Section of the Heart.

   IP Cardiovascular System Topic: Cardiac Cycle, p. 3.

5. El miocardio se nutre de la circulación coronaria, que consta de las arterias coronarias derecha e izquierda y sus ramificaciones, y se drena a través de las venas cardiacas y el seno coronario.

6. El músculo cardiaco es capaz de iniciar su propia contracción de forma regular, pero su frecuencia está influida por factores intrínsecos y extrínsecos. El sistema de conducción intrínseco aumenta la frecuencia de contracción cardiaca y garantiza que el corazón lata como una unidad. El nodo SA es el marcapasos del corazón.

   WEB Actividad: Chapter 11, Intrinsic Conduction System of the Heart.

   IP Cardiovascular System Topic: Intrinsic Conduction System, pp. 3-6.

7. El tiempo y los sucesos que se producen entre latido y latido conforman el ciclo cardiaco.

8. A medida que late el corazón, pueden oírse los sonidos que se producen al cerrarse las válvulas ("lub-dup"). Las válvulas defectuosas reducen la eficacia del corazón como una bomba y producen sonidos cardiacos anormales (soplos).

   IP Cardiovascular System Topic: Cardiac Cycle, pp. 4-10.

9. El gasto cardiaco, la cantidad de sangre bombeada por cada ventrículo en un minuto, es el producto de la frecuencia cardiaca (HR) × volumen sistólico (SV). El SV es la cantidad de sangre expulsada por un ventrículo con cada latido.

10. El SV aumenta o disminuye con el volumen del retorno venoso. La HR está influida por los nervios del sistema nervioso autónomo, los fármacos (y otras sustancias químicas) y los niveles de iones en la sangre.

Vasos sanguíneos (págs. 374-395)

1. Las arterias, que transportan sangre desde el corazón, y las venas, que transportan la sangre de vuelta al corazón, son vasos conductores. Sólo los capilares influyen en los auténticos intercambios con las células tisulares.

2. A excepción de los capilares, los vasos sanguíneos están formados por tres túnicas: la túnica íntima forma una línea que reduce la fricción del vaso; la túnica media es la capa media abultada de músculo y tejido elástico; la túnica externa es la capa protectora de tejido conectivo más externa. Las paredes de capilares sólo están formadas por la túnica íntima.

   IP Cardiovascular System Topic: Anatomy Review: Blood Vessel Structure and Function, pp. 3-5.

3. Las paredes de las arterias son gruesas y fuertes para soportar las fluctuaciones de presión. Se expanden y contraen con los latidos del corazón. Las paredes de las venas son más finas, sus luces son más grandes y cuentan con válvulas. Estas modificaciones reflejan el carácter de baja presión de las venas.

   IP Cardiovascular System Topic: Anatomy Review: Blood Vessel Structure and Function, pp. 25-27.

4. Los lechos capilares presentan dos tipos de vasos; una derivación vascular y auténticos capilares cuya entrada está vigilada por los esfínteres precapilares. Los intercambios con células tisulares se producen a través de las paredes de los auténticos capilares. Cuando se cierran los esfínteres precapilares, la sangre evita la zona local mediante la derivación vascular.

   WEB Actividad: Chapter 11, Arterial Circulation.

5. Las venas varicosas, un defecto estructural debido a las válvulas incompetentes, es un problema vascular común, especialmente en las personas obesas y en los individuos que están de pie durante muchas horas. Se trata de un factor de predisposición de la tromboflebitis.

   WEB Actividad: Chapter 11, Veins of the Systemic Circulation.

6. Las principales arterias de la circulación sistémica son ramificaciones de la aorta, que sale del ventrículo izquierdo. Se ramifican en arterias más pequeñas y, después, en las arteriolas, que nutren los lechos capilares de los tejidos corporales. Para consultar los nombres y ubicaciones de las arterias sistémicas, véanse las págs. 378-379.

7. Las principales venas de la circulación sistémica convergen en último lugar en una de las venas cavas. Todas las venas situadas por encima del diafragma se drenan en la vena cava superior, y las que se encuentran por debajo del diafragma se drenan en la vena cava inferior. Las dos venas cavas entran en la aurícula derecha del corazón. Véanse las págs. 380-381 para consultar los nombres y las ubicaciones de las venas sistémicas.

8. La circulación arterial del cerebro está formada por pares de ramas de arterias carótidas internas y vertebrales. El polígono de Willis proporciona rutas alternas del flujo sanguíneo en caso de que se produzca un bloqueo en el suministro arterial del cerebro.

9. La circulación fetal es una circulación temporal que sólo se observa en el feto. Consta principalmente de tres vasos especiales: la vena umbilical, que transporta sangre cargada de oxígeno y nutrientes hasta el feto desde la placenta; las dos arterias umbilicales, que transportan sangre cargada de dióxido de carbono y desechos desde el feto hasta la placenta. Las derivaciones que evitan los pulmones y el hígado también están presentes.

10. La circulación portal hepática está formada por venas que drenan los órganos digestivos, que se vacían en la vena portal hepática. La vena portal hepática transporta sangre rica en nutrientes hasta el hígado, donde se procesa antes de que pueda entrar en la circulación sistémica.

11. El pulso es la expansión y contracción alternativas de la pared de un vaso sanguíneo (la onda de presión) que se produce a medida que late el corazón. Puede notarse fá-

cilmente en cualquier arteria superficial, como los denominados puntos de presión.

12. La tensión arterial es la presión que ejerce la sangre en las paredes de los vasos sanguíneos. Se trata de la fuerza que causa la sangre para continuar fluyendo por los vasos sanguíneos. Es alta en las arterias, menor en los capilares y mucho más baja en las venas. La sangre se fuerza a pasar a lo largo de un gradiente de presión decreciente. Se registran las tensiones sistólica y diastólica.

   IP Cardiovascular System Topic: Measuring Blood Pressure, pp. 3-12.

13. La tensión arterial se ve influida directamente por la actividad cardiaca (la mayor frecuencia cardiaca causa una mayor tensión arterial) y por la resistencia al flujo sanguíneo. Los factores más importantes que aumentan la resistencia periférica son la reducción del diámetro o de la elasticidad de las arterias y arteriolas, y un aumento de la viscosidad sanguínea.

14. Muchos factores influyen en la tensión arterial, incluidos la actividad de los nervios simpáticos y los riñones, los fármacos y la dieta.

15. La hipertensión, que refleja un aumento de la resistencia periférica, fuerza al corazón y daña los vasos sanguíneos. En la mayoría de los casos se desconoce la causa precisa.

16. Las sustancias se desplazan hasta y desde la sangre y las células tisulares a través de las paredes de capilares. Algunas sustancias se transportan en las vesículas, pero la mayoría se mueven por difusión; directamente a través de las membranas plasmáticas de células endoteliales, a través de las ranuras intercelulares o mediante las fenestraciones. El líquido se fuerza desde el flujo sanguíneo por la tensión arterial y recula en la sangre debido a la presión osmótica.

Formación y desarrollo del sistema cardiovascular (págs. 395, 397)

1. El corazón empieza como una estructura tubular que late y bombea sangre a la cuarta semana de desarrollo embrionario.

2. Los defectos congénitos del corazón representan la mitad de las muertes de bebés debidas a defectos congénitos.

3. La arteriosclerosis es una consecuencia esperada del envejecimiento. La pérdida gradual de elasticidad en las arterias produce hipertensión y cardiopatías hipertensas, y la coagulación de los vasos con sustancias grasas produce la enfermedad coronaria y apoplejía. Las enfermedades cardiovasculares son una importante causa de muerte en los individuos mayores de 65 años.

4. Modificar la dieta (menos grasas, colesterol y sal), dejar de fumar y realizar ejercicio aeróbico con regularidad puede ayudar a invertir el proceso ateroscleróticoy a prolongar la vida.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. La sangre recién oxigenada es recibida en primer lugar por
   a. el ventrículo derecho.
   b. el ventrículo izquierdo.
   c. la aurícula derecha.
   d. la aurícula izquierdo.

2. Dado un volumen diastólico final de 150 ml, un volumen sistólico final de 50 ml y una frecuencia cardiaca de 60 lpm, el gasto cardiaco es de
   a. 600 ml/min.
   b. 6 litros/min.
   c. 1.200 ml/min.
   d. 3 litros/min.

3. ¿Cuál de los siguientes se despolariza justo después del nodo AV?
   a. Miocardio auricular.
   b. Miocardio ventricular.
   c. Ramas del haz.
   d. Fascículo AV.

4. Durante la sístole auricular,
   a. la presión auricular supera la presión ventricular.
   b. se realiza el 70% del llenado ventricular.
   c. se abren las válvulas AV.
   d. las válvulas evitan el retroflujo en las grandes venas.

5. La repolarización auricular coincide en tiempo con
   a. la onda P.
   b. la onda T.
   c. la onda QRS.
   d. el intervalo P-Q.

6. Justo después del inicio de la sístole ventricular,
   a. se cierran las válvulas AV.
   b. se abren las válvulas semilunares.
   c. se oye el primer sonido del corazón.
   d. aumenta la presión aórtica.

7. La base de corazón es su superficie _____.
   a. diafragmática
   b. posterior
   c. anterior
   d. inferior

8. Al comparar una arteria y una vena paralelas entre sí, puede observarse que
   a. la pared arterial es más gruesa.
   b. el diámetro arterial es mayor.
   c. la luz arterial es menor.
   d. el endotelio arterial es más grueso.

9. Teniendo en cuenta los vasos que nombran el tronco pulmonar y el tronco celiaco, el término *tronco* debe referirse a
   a. un vaso de la pared cardiaca.
   b. una vena.
   c. un capilar.
   d. una arteria grande desde la que se ramifican otras arterias.
10. ¿Cuál de estos vasos es simétrico bilateralmente (es decir, cada vaso del par se encuentra a un lado del cuerpo)?
    a. Arteria carótida interna.
    b. Tronco braquiocefálico.
    c. Vena ácigos.
    d. Vena mesentérica superior.
11. Una apoplejía que ocluye una arteria cerebral posterior afectará mayoritariamente
    a. al oído.
    b. a la visión.
    c. al olfato.
    d. a los procesos superiores.
12. Los vasos que influyen en la vía circulatoria hacia el cerebro y desde éste son la
    a. arteria braquiocefálica.
    b. arteria subclavia.
    c. vena yugular interna.
    a. arteria carótida interna.
13. ¿Qué capa de la pared arterial se engrosa más en la aterosclerosis?
    a. La túnica media.
    b. La túnica íntima.
    c. La túnica adventicia.
    d. La túnica externa.
14. ¿Cuál de estas condiciones se asocia al envejecimiento?
    a. Tensión arterial creciente.
    b. Debilitamiento de las válvulas venosas.
    c. Arteriosclerosis.
    d. Estenosis del conducto arterial.
15. Un aumento de la BP se debe a todo lo siguiente excepto
    a. al aumento del SV.
    b. al aumento de la frecuencia cardiaca.
    c. al aumento de la longitud de la diástole ventricular.
    d. a la constricción de las arteriolas.
16. La parte más externa del pericardio es
    a. la capa parietal del pericardio seroso.
    b. el pericardio fibroso.
    c. la capa visceral del pericardio seroso.
    d. la cavidad pericárdica.
17. ¿Qué cámara cardiaca forma la mayor parte de la superficie inferior cardiaca?
    a. La aurícula derecha.
    b. El ventrículo derecho.
    c. La aurícula izquierda.
    d. El ventrículo izquierdo.
18. ¿Cuántas cúspides posee la válvula auriculoventricular derecha?
    a. Dos
    b. Tres
    c. Cuatro
19. ¿Qué capa de la pared cardiaca es más gruesa?
    a. El endocardio.
    b. El miocardio.
    c. El epicardio.
    d. El endotelio.

Respuesta breve

20. Dibuja un diagrama del corazón donde se vean las tres capas que componen su pared y sus cuatro cámaras. Escribe el nombre de cada una. Indica dónde se encuentran las válvulas AV y semilunar. Indica y escribe el nombre de todos los vasos sanguíneos que entran en las cámaras cardiacas y salen de éstas.
21. Traza el recorrido de una gota de sangre desde el momento en que ésta entra en la aurícula derecha del corazón hasta que entra en la aurícula izquierda. ¿Cómo se denomina a este circuito?
22. ¿Cuál es la función del líquido que llena el saco del pericardio?
23. Define *sístole, diástole, volumen sistólico* y *ciclo cardiaco.*
24. ¿En qué se diferencia la capacidad del corazón de contraerse de la de otros músculos del cuerpo?
25. Nombra los elementos del sistema de conducción intrínseco, *en orden,* empezando por el marcapasos.
26. Nombra tres factores distintos que aumentan la frecuencia cardiaca.
27. Nombra y describe de dentro a fuera las tres túnicas que conforman las paredes de las venas y arterias e indica la función más importante de cada capa.
28. Describe la estructura de las paredes capilares.
29. ¿Por qué las paredes arteriales son mucho más gruesas que las de las venas correspondientes?
30. Nombra tres factores importantes que promueven el retorno venoso.
31. A menudo las arterias se describen como vasos que transportan sangre rica en oxígeno, y se dice que las venas transportan sangre pobre en oxígeno (rica en dióxido de carbono). Nombra dos grupos de excepciones a esta regla que se han explicado en este capítulo.

32. Traza el recorrido de una gota de sangre desde el ventrículo izquierdo del corazón hasta la muñeca de la mano derecha y el recorrido de vuelta hasta el corazón. Ahora trázalo hasta el dorso del pie derecho y de vuelta hasta el corazón derecho.

33. ¿Cuál es la función de la circulación portal hepática? ¿En qué sentido una circulación portal es una circulación "extraña"?

34. En un feto, la sangre evita casi por completo el hígado y los pulmones. ¿Por qué? Nombra el vaso que evita al hígado. Nombra dos rutas alternativas a los pulmones. Hay tres vasos que recorren el cordón umbilical; ¿cuál de éstos transporta sangre rica en oxígeno y nutrientes?

35. Define *pulso*.

36. ¿Qué arteria se palpa en la parte frontal del oído? ¿Por detrás del cuello?

37. Define *presión sistólica* y *presión diastólica*.

38. Hay dos elementos que determinan la tensión arterial: el gasto cardiaco del corazón y la resistencia periférica (o fricción) en los vasos sanguíneos. Nombra dos factores que aumentan el gasto cardiaco. Nombra dos factores que aumentan la resistencia periférica.

39. ¿En qué posición (sentado, tumbado o de pie) suele ser mayor la tensión arterial? ¿Y menor?

40. ¿Qué diferencia hay entre los intercambios capilares que se ven en un capilar con fenestraciones y fisuras intercelulares y los intercambios que se ven en un capilar sin estas modificaciones?

41. ¿Qué son las venas varicosas? ¿Qué factores parecen promover su formación?

42. Explica por qué el flujo sanguíneo de las arterias es pulsátil y el flujo sanguíneo de las venas no lo es.

43. ¿Cuál es la relación entre la zona transversal de un vaso sanguíneo y la velocidad del flujo sanguíneo en ese vaso?

44. ¿Qué tipo de vaso sanguíneo es más importante en la regulación de la resistencia vascular, y cómo la consigue?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

45. Define *hipertensión* y *arteriosclerosis*. ¿En qué se relacionan con frecuencia? ¿Por qué a la hipertensión se la denomina el "asesino silencioso"? Nombra tres cambios en el estilo de vida que pueden ayudar a prevenir las enfermedades cardiovasculares en la vejez.

46. La señora Guerrero, una mujer de mediana edad, es ingresada en la unidad de cuidados coronarios con el diagnóstico de fallo del ventrículo izquierdo resultante de un infarto de miocardio. Su cuadro clínico indica que se despertó en mitad de la noche con un fuerte dolor en el pecho. Su piel está pálida y fría, y los sonidos esponjosos del edema pulmonar se oyen en las zonas inferiores de ambos pulmones. Explica cómo es posible que el fallo del ventrículo izquierdo pueda causar estos signos y síntomas.

47. A Lisa, una chica de 14 años que se está haciendo una exploración física antes de ser admitida en un campamento de verano, se le diagnosticó un soplo cardiaco elevado en el segundo espacio intercostal del lado izquierdo del esternón. El soplo adquiere la forma de un silbido sin un gran alcance. ¿Qué produce el soplo exactamente?

48. La señora Rodríguez es llevada a la sala de urgencias tras haber sufrido un accidente de coche. Presenta una hemorragia y un pulso rápido y débil, pero su tensión arterial sigue estando dentro de lo normal. Describe los mecanismos de compensación que mantienen su tensión arterial frente a la pérdida de sangre.

49. Durante un ataque letal al corazón, un coágulo de sangre se coloca en la primera parte de la rama circunfleja de la arteria coronaria izquierda, bloqueando el flujo sanguíneo a través de este vaso. ¿Qué partes del corazón se convertirán en isquémicas y morirán?

50. El señor Sánchez fue diagnosticado con un tumor pituitario posterior que causa hipersecreción de ADH. Acude a la clínica con regularidad para tomarse la tensión arterial. ¿Sería de esperar que su tensión arterial fuese alta o baja de forma crónica? ¿Por qué?

51. Explica por qué es más probable que se produzca una indigestión nadando enérgicamente justo después de comer en vez de que se produzcan calambres musculares.

52. Los guardias del palacio real londinense están de pie atentos durante la guardia. En un día muy caluroso, no es extraño que uno (o varios) se sientan mareados y se desmayen. Explica este fenómeno.

CAPÍTULO

12

El sistema linfático y las defensas del organismo

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás adquirido conocimientos sobre las funciones del sistema linfático, así como de las defensas del cuerpo y, por tanto, habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- El sistema linfático devuelve el plasma a los vasos sanguíneos después de limpiarlo de bacterias y otros cuerpos invasores. También proporciona zonas de vigilancia por medio de las células del sistema inmunitario.
- Las defensas naturales obstaculizan la entrada de patógenos, previenen la extensión de microorganismos causantes de enfermedades y refuerzan la respuesta inmunitaria.
- Las defensas adaptativas protegen contra la enfermedad mediante la destrucción de las células "extrañas" y desactivando las toxinas, así como otros agentes químicos invasores, con sus anticuerpos.

NUESTROS OBJETIVOS

PARTE I: EL SISTEMA LINFÁTICO (págs. 403-408)

- Nombrar los dos tipos de estructuras principales que componen el sistema linfático.
- Describir la fuente linfática, explicar su formación y movimiento.
- Describir las funciones de los vasos linfáticos, los ganglios linfáticos, las amígdalas, el timo, las placas de Peyer y el bazo.

- Describir cómo se relaciona el sistema linfático con los sistemas cardiovascular e inmunitario.

PARTE II: LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO (págs. 408-431)

- Describir las funciones protectoras de la piel y de las membranas mucosas.
- Explicar la importancia de los fagocitos como células destructoras naturales.
- Describir el proceso inflamatorio.
- Nombrar varias sustancias antimicrobianas generadas por el organismo que actúan como defensas innatas de éste.
- Describir cómo ayuda la fiebre a proteger al organismo.
- Definir *antígeno* y *semiantígeno*, y nombrar sustancias que actúan como antígenos enteros.
- Nombrar las dos ramas del sistema de defensa adaptativo y relacionar cada una con un tipo de linfocito específico (células B o T).
- Comparar y contrastar el desarrollo de las células B y T.
- Definir las funciones de las células B y T, y del plasma.
- Explicar la importancia de los macrófagos en el sistema inmunitario.
- Relacionar las cinco clases de anticuerpos y describir sus funciones específicas en el sistema inmunitario.
- Describir algunos mecanismos mediante los cuales los anticuerpos actúan contra los antígenos.
- Distinguir entre inmunidad activa y pasiva.
- Describir inmunodeficiencias, alergias y enfermedades autoinmunes.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA LINFÁTICO Y LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO (págs. 431-435)

- Describir el origen de los vasos linfáticos.
- Describir los efectos del envejecimiento en el sistema inmunitario.

PARTE I: EL SISTEMA LINFÁTICO

¡No todos pueden ser superestrellas! Cuando enumeramos mentalmente los nombres de los sistemas de los órganos corporales, probablemente el sistema linfático no será el primero que venga a nuestra mente. Sin embargo, sin este silencioso sistema de trabajo, nuestro sistema cardiovascular dejaría de funcionar y nuestro sistema inmunitario quedaría deteriorado sin remedio. El **sistema linfático** en sí se compone de dos partes semiindependientes: (1) una red serpenteante de *vasos linfáticos*, y (2) varios *tejidos linfoides* y *órganos* distribuidos por todo el organismo. Los vasos linfáticos transportan los fluidos sanguíneos que han salido del sistema vascular sanguíneo de vuelta a su origen. Los tejidos y órganos linfoides alojan los linfocitos y las células fagocitarias, que desempeñan papeles esenciales en la defensa y la resistencia del organismo ante las enfermedades.

Vasos linfáticos

Mientras la sangre circula por las venas, se produce un intercambio de nutrientes, desechos y gases entre ella y el fluido intersticial. Tal y como se explica en el Capítulo 11, las presiones hidrostáticas y osmóticas que operan en los lechos capilares empujan el fluido fuera de la sangre en los extremos arteriales de dichos lechos (contracorriente) y son causantes de que la mayor parte del fluido sea reabsorbido en los extremos venosos (a favor de la corriente). El fluido que permanece tras las zonas de tejido y puede llegar a ser una cantidad de hasta 3 litros diarios, pasa a formar parte del fluido intersticial. Este fluido fugado, así como cualquier cantidad de proteínas plasmáticas que salen de la sangre, ha de ser transportado de vuelta a la sangre si se quiere que el sistema vascular tenga la sangre suficiente para funcionar correctamente. De otro modo, los fluidos se acumularían en los tejidos y provocarían un **edema.** Un edema excesivo perjudica la capacidad de las células de los tejidos de realizar intercambios con el fluido intersticial y, en última instancia,

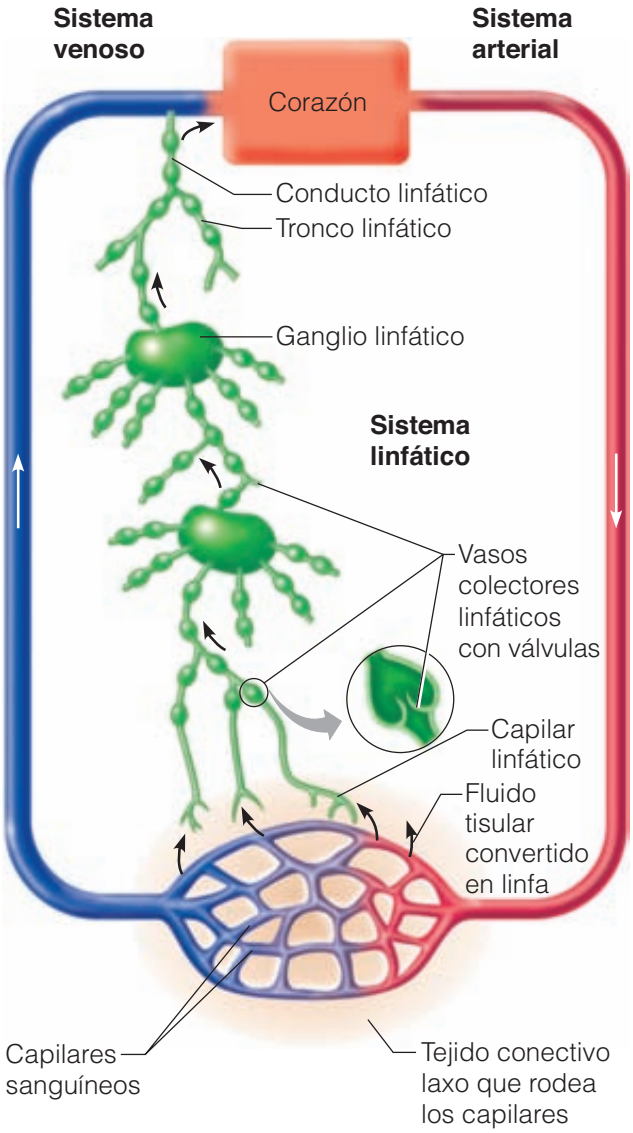


FIGURA 12.1 Relación de los vasos linfáticos con los sanguíneos. Comenzando por la parte inferior de la figura, vemos que la linfa, que comienza como fluido tisular derivado de los capilares sanguíneos, entra en los capilares linfáticos, va a través de los vasos y los ganglios linfáticos y entra en el torrente sanguíneo a través de las grandes venas de la base del cuello.

con la sangre. La función de los **vasos linfáticos** es formar un elaborado sistema de drenaje que recoja este excedente de fluido tisular, denominado **linfa** (*lymph* = agua limpia) y lo devuelva a la sangre (Figura 12.1).

Los vasos **linfáticos,** también denominados sistema linfático, forman un sistema unidireccional en el que la linfa fluye únicamente hacia el corazón. Los microscópicos **capilares linfáticos,** de extremos ciegos, seerpentean entre las células tisulares y los capilares sanguíneos en los tejidos conectivos laxos del organismo (Figuras 12.1 y 12.2a) y absorben el fluido filtrado. Aunque son similares a los capilares sanguíneos, los capilares linfáticos cuentan con una permeabilidad tan destacable que en el pasado se creía que tenían una apertura en el extremo, como la de las pajitas. No sólo vemos que no es así, si no que, además, nos encontramos con que los extremos de las células endoteliales que forman sus paredes poco tupidas se solapan unos con otros, formando *miniválvulas* con forma de aleta (Figura 12.2b) que a su vez actúan como puertas batientes unidireccionales. Las aletas, ancladas por medio de finas fibras de colágeno a las estructuras adyacentes, se abren de par en par cuando la presión del fluido es mayor en el espacio intersticial, permitiendo así que el fluido penetre en los capilares linfáticos. Sin embargo, cuando la presión es más alta en el interior de los vasos linfáticos, las aletas celulares endoteliales son forzadas a unirse, evitando así que la linfa vuelva a filtrarse y empujándola a lo largo del vaso. Normalmente se impide que las proteínas, e incluso partículas de mayor tamaño tales como desechos, bacterias y virus, penetren en los capilares sanguíneos; sin embargo, penetran con facilidad en los capilares linfáticos, en particular en zonas inflamadas. Y aquí surge un problema: las bacterias y los virus (así como las células cancerígenas) que penetran en el sistema linfático pueden utilizarlo para moverse por el interior del organismo. Este dilema es parcialmente solventado por el hecho de que la linfa toma desvíos a través de los ganglios linfáticos, donde se limpia de desechos, que son "examinados" por las células del sistema inmunitario, como explicaremos más detalladamente en breve.

La linfa es transportada desde los capilares linfáticos a través de vasos linfáticos cada vez mayores, denominados **vasos linfáticos colectores,** hasta que finalmente es devuelta al sistema venoso a través de uno de los dos amplios conductos de la zona torácica. El **conducto linfático derecho** drena la linfa de la zona del brazo derecho y la parte derecha de la cabeza y el tórax. El **conducto torácico** mayor recibe la linfa desde el resto del organismo, tal y como muestra la Figura 12.3. Ambos conductos vacían la linfa en la vena subclavia de su parte del organismo.

Al igual que las venas del sistema cardiovascular, los vasos linfáticos son de pared estrecha, y los mayores tienen válvulas. El linfático es un sistema de baja presión sin bombeo. La linfa se transporta por medio de los mismos mecanismos que ayudan al retorno de la sangre de las venas: la acción succionante de los músculos del esqueleto y los cambios de presión del tórax durante la respiración (es decir, las "bombas" musculares y respiratorias). Además, los suaves músculos de las paredes de

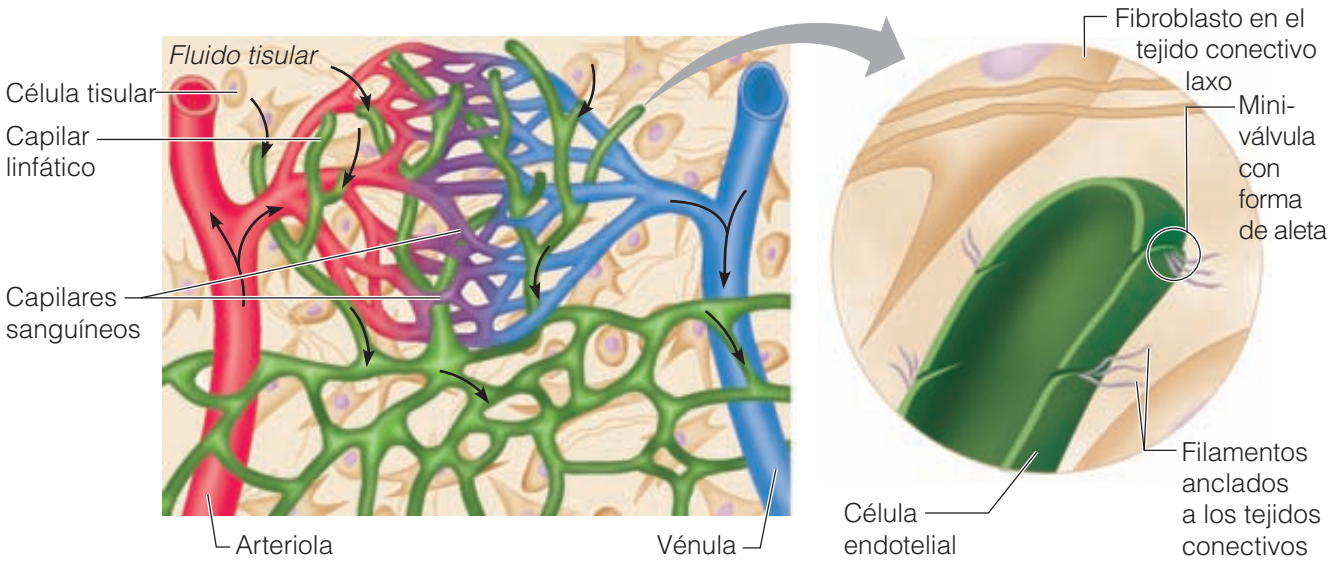


FIGURA 12.2 Distribución y características estructurales especiales de los capilares linfáticos. **(a)** Relación estructural entre capilares sanguíneos y linfáticos. Las flechas de color negro indican la dirección del movimiento del fluido. **(b)** Los capilares linfáticos comienzan como tubos de extremos ciegos. Las células endoteliales que forman sus paredes se solapan unas sobre otras formando las miniválvulas con forma de aleta.

los vasos linfáticos mayores se contraen de manera rítmica, ayudando así a "bombear" la linfa.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Cuál es la función de los vasos linfáticos?
2. ¿En qué se diferencian estructuralmente los capilares linfáticos y los sanguíneos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Ganglios linfáticos

Los tejidos linfáticos están más estrechamente relacionados con el sistema inmunitario que con el cardiovascular. Los **ganglios linfáticos** en particular ayudan a proteger el organismo deshaciéndose de materia extraña, como pueden ser las bacterias y las células tumorales del flujo linfático, y generando linfocitos que funcionan en la respuesta inmunitaria.

Mientras la linfa es transportada hacia el corazón, se va filtrando a través de miles de ganglios linfáticos que se agrupan a lo largo de los vasos linfáticos (véase la Figura 12.1). Las agrupaciones particularmente amplias se encuentran en las regiones inguinales, axilares y cervicales del organismo (véase la Figura 12.3). Dentro de los ganglios linfáticos hay **macrófagos** que se tragan y destruyen bacterias, virus y otras sustancias extrañas dentro de la linfa antes de devolverla a la sangre. Enormes cantdades de **linfocitos** (un tipo de leucocito) se ubican también de forma estratégica en los ganglios linfáticos y responden a sustancias extrañas en el flujo linfático. Aunque normalmente no somos conscientes de la naturaleza protectora de los ganglios linfáticos, la mayoría hemos sufrido de "glándulas inflamadas" en el transcurso de una infección activa. Lo que se inflama en estos casos no son las glándulas del sistema endocrino, sino los ganglios del sistema linfático. (El término *glándulas inflamadas* es un error histórico de nomenclatura.) Esta inflamación de los ganglios linfáticos es el resultado de la función de atrapamiento de los mismos.

Los ganglios linfáticos varían en forma y tamaño, pero la mayoría tienen forma de riñón, de tamaño inferior a una pulgada (aproximadamente 2,5 centímetros) de largo, y están "sepultados" en el tejido conectivo que los rodea. Cada ganglio está rodeado por una

P *¿Qué consecuencia tendría el bloqueo del conducto torácico?*

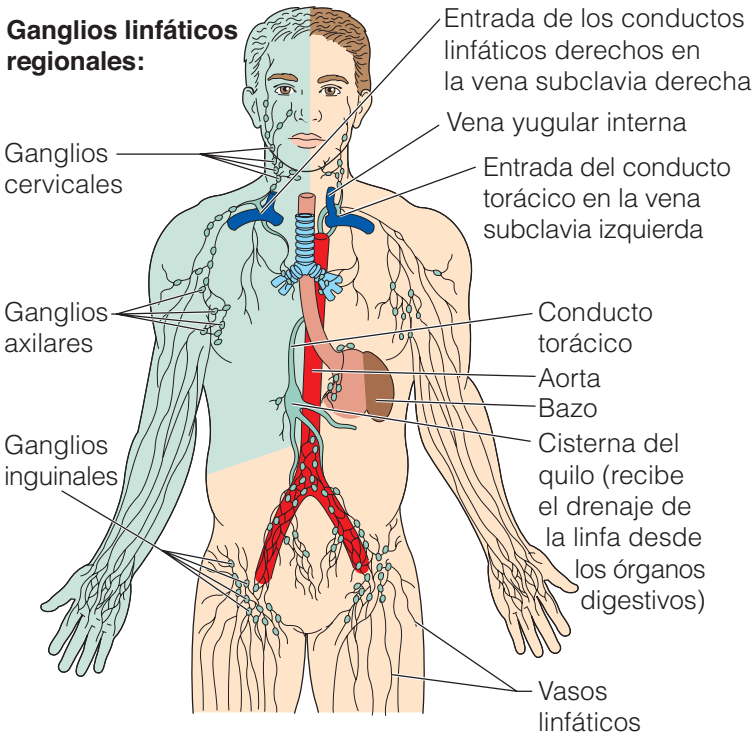


FIGURA 12.3 Distribución de vasos linfáticos y ganglios linfáticos. La zona sombreada muestra la parte del organismo drenada por el conducto linfático derecho, el resto del organismo es drenado por el conducto torácico.

cápsula fibrosa, desde de la cual unas hebras denominadas *trabéculas* se extienden hacia dentro para dividir el ganglio en varios compartimentos (Figura 12.4). La estructura interna es una red de tejido conectivo reticular suave que sostiene una población de linfocitos continuamente cambiantes. (Tal y como se describe en el Capítulo 10, los linfocitos surgen de la médula ósea roja pero después se van desplazando a los ganglios linfáticos y a otros órganos linfoides, donde siguen proliferando).

La parte exterior del ganglio, su **corteza,** contiene grupos de linfocitos denominados **folículos,** muchos de los cuales contienen núcleos oscuros denominados **centros germinales.** Estos núcleos se agrandan cuando linfocitos específicos *(células B)* generan células hijas llamadas **células plasmáticas,** que liberan anticuerpos. El resto de las células corticales son linfocitos "en tránsito", se trata de las denominadas *células T,* que circulan de forma continua entre la sangre, los ganglios linfáticos y el flujo linfático, ejecutando su función supervisora. Los macrófagos fagocíticos se encuentran en la **médula** central del ganglio linfático. (En breve comentaremos las funciones precisas de las células de los ganglios linfáticos en el sistema inmunitario).

La linfa penetra en el lado convexo del ganglio linfático a través de los **vasos linfáticos aferentes.** A continuación fluye a través de varios **senos** que atraviesan el ganglio linfático, y finalmente sale del mismo por su zona mellada, el **hilio,** a través de los **vasos linfáticos eferentes.** Puesto que existen menos vasos eferentes drenando el ganglio que aferentes alimentándolo, el flujo de la linfa en el ganglio es muy lento. Esto proporciona tiempo para que los linfocitos y los macrófagos puedan realizar sus funciones protectoras.

En general, la linfa pasa a través de varios ganglios antes de completar el proceso de limpieza.

R *Edema en las áreas que drenan hacia el conducto torácico.*

P *¿Que beneficio existe en tener menos vasos linfáticos eferentes que aferentes?*

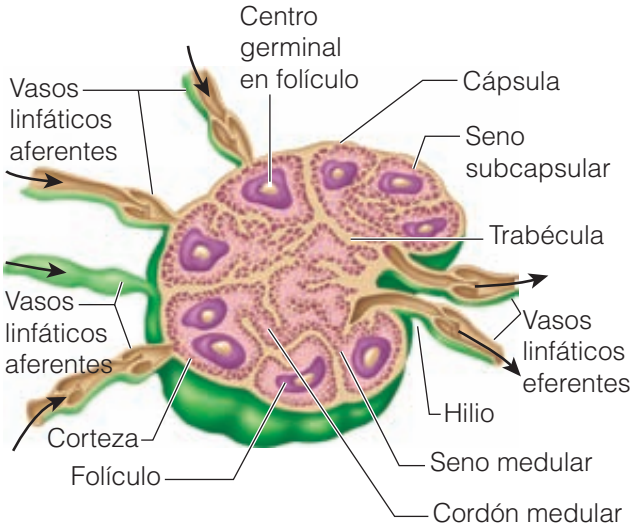


FIGURA 12.4 Estructura de un ganglio linfático. Sección longitudinal de un ganglio linfático y vasos linfáticos asociados. Observa que varios vasos linfáticos aferentes entran en el ganglio, mientras que un número inferior de eferentes salen por el hilio.

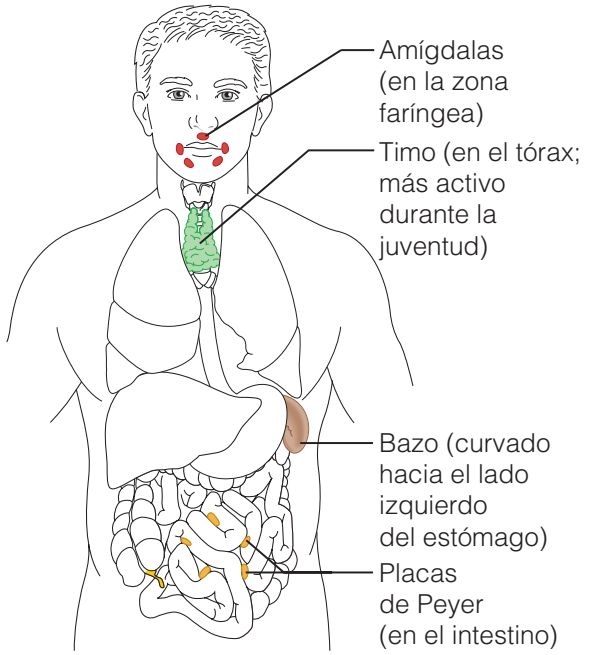


FIGURA 12.5 Órganos linfoides. Amígdalas, timo, bazo y placas de Peyer.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los ganglios linfáticos ayudan a deshacerse de los agentes infecciosos del organismo, así como de las células cancerígenas pero, a veces, se ven inundados por los mismos agentes que intentan destruir. Por ejemplo, cuando un elevado número de bacterias o virus se encuentra atrapado en los ganglios, éstos se inflaman y se tornan sensibles al tacto. Los ganglios linfáticos también pueden convertirse en zonas cancerígenas secundarias, en particular en cánceres que utilizan los vasos linfáticos para extenderse por el organismo. El hecho de que los ganglios linfáticos infiltrados por cáncer están inflamados, pero no son dolorosos, ayuda a distinguir los ganglios linfáticos cancerígenos de aquéllos infectados por microorganismos. ▲

Otros órganos linfoides

Los ganglios linfáticos son sólo uno de los muchos tipos de **órganos linfoides** del organismo. Otros son el bazo, la glándula timo, las amígdalas y las placas de Peyer del intestino (Figura12.5), así como trocitos de tejido linfoide esparcidos por los tejidos epitelial y conectivo. La característica común de todos estos órganos reside en el predominio de tejido conectivo reticular y de linfocitos. Aunque todos los órganos linfoides cumplen diversas funciones a la hora de proteger el organismo, sólo los ganglios linfáticos filtran la linfa.

El **bazo** es un órgano blando, de alto contenido sanguíneo, que filtra la sangre. Se encuentra en la parte izquierda de la cavidad abdominal, justo debajo del diafragma, y se enrosca alrededor de la parte anterior del estómago. En vez de filtrar la linfa, el bazo filtra y limpia la sangre de bacterias, virus y otros desechos. Como el resto de los órganos linfoides, el bazo facilita una zona para la proliferación de linfocitos y la vigilancia del sistema inmunitario, pero su función más importante es destruir los glóbulos rojos "gastados" y devolver algunos de los productos de su descomposición al hígado. Por ejemplo, el hierro se reutiliza para fabricar la hemoglobina, y el resto de la molécula de hemoglobina se secreta en la bilis. Otras funciones del bazo incluyen el almacenaje de plaquetas y la reserva sanguínea (al igual que el hígado). En caso de hemorragia, tanto el bazo como el hígado se contraen y vacían la sangre que contienen en la circulación para ayudar a devolver el volumen sanguíneo a

R *Puesto que la salida desde el ganglio linfático es más pequeña que la entrada, el fluido linfático se estanca (deja de fluir) brevemente en el ganglio linfático, lo cual da tiempo a macrófagos y linfocitos a monitorizar y procesar la linfa para patógenos.*

El sistema inmunitario		
Mecanismos de defensa innatos (no específicos)		**Mecanismos de defensa adaptativos (específicos)**
Primera línea de defensa	Segunda línea de defensa	Tercera línea de defensa
• Piel • Membranas mucosas • Secreciones de piel y membranas mucosas	• Células fagocitarias • Proteínas antimicrobiales • Respuesta antiinflamatoria	• Linfocitos • Anticuerpos • Macrófagos

FIGURA 12.6 **Breve descripción de las defensas del organismo.**

los niveles normales. En el feto, el bazo es una importante zona hematopoyética (productora de células sanguíneas), pero generalmente sólo el bazo adulto produce linfocitos.

La **glándula timo,** que sólo funciona a niveles máximos durante la juventud, es una masa linfoide que se encuentra en la parte inferior de la garganta, por encima del corazón. Tal y como se describe en el Capítulo 9, el timo produce hormonas, *timosinas* y otras sustancias, que funcionan en la programación de ciertos linfocitos de forma que puedan realizar sus funciones protectoras en el organismo.

Las **amígdalas** son pequeñas masas de tejido linfoide que rodean la faringe (la garganta), donde se encuentran en la mucosa. Su función es atrapar y eliminar cualquier bacteria u otros patógenos invasores que penetren en la garganta. Realizan esta función de manera tan eficaz, que a veces se congestionan por las bacterias y se tornan rojas, se hinchan e irritan, causando la enfermedad denominada *amigdalitis*.

Las **placas de Peyer,** que recuerdan a las amígdalas, se encuentran en la pared del intestino delgado. Los macrófagos de las placas de Peyer se encuentran en una posición inmejorable para capturar y destruir bacterias (siempre se encuentran en grades cantidades en el intestino), y evitan que penetren en la pared intestinal. Las placas de Peyer y las amígdalas forman parte del grupo de pequeños tejidos linfoides a los que se denomina **tejido linfoide asociado a las mucosas (MALT)**. De forma colectiva, el MALT actúa como un centinela para proteger los tractos de las vías respiratorias altas y digestivas de los infinitos ataques de materia extraña que penetra en estas cavidades.

Una vez establecido el escenario en el que actúan la mayoría de las defensas del organismo, estamos preparados para profundizar más en el tema.

¿LO HAS ENTENDIDO?

3. ¿En qué tres zonas del cuerpo son más densos los ganglios linfáticos?
4. ¿Qué característica anatómica asegura un flujo lento de la linfa a través de los ganglios linfáticos?
5. ¿Qué órgano linfático se deshace de los glóbulos rojos envejecidos?
6. ¿Que significa MALT?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE II: LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO

Cada segundo del día, un ejército de bacterias, virus y hongos hostiles pulula por la piel e invade las entradas al organismo; sin embargo, el cuerpo humano se mantiene sano la mayor parte del tiempo. El organismo parece haber desarrollado un enfoque firme hacia dicho enemigo: ¡si no estás con nosotros, estás contra nosotros!

Los defensores del organismo contra estos pequeños pero a la vez poderosos enemigos son dos sistemas, denominados sencillamente *sistemas de defensa innato* y *adaptativo* (Figura 12.6). Juntos forman el **sistema inmunitario.** El **sistema de defensa innato,** también denominado **sistema de defensa no específico,** responde de forma inmediata para proteger el organismo de toda sustancia invasora, sea cual sea. Se podría decir que estamos completamente equipados con nuestras defensas innatas, que están provistas de piel intacta y membranas mucosas, de la respuesta inflamatoria y de numerosas proteínas que producen las células del organismo.

Este sistema reduce la carga de trabajo del sistema de defensa adaptativo, pues impide la entrada y propagación de microorganismos a través del cuerpo.

El **sistema de defensa adaptativo** o **específico** ataca a sustancias extrañas *concretas*. Aunque ciertos órganos (linfoides y vasos sanguíneos) están involucrados en la respuesta inmunitaria, el sistema inmunitario es un *sistema funcional* más que un sistema de órganos en el sentido anatómico de la expresión. Sus "estructuras" se componen de una variedad de moléculas y trillones de células inmunes que habitan en los tejidos linfoides y en los órganos y circulan por los fluidos corporales. Las más importantes son los *linfocitos* y los *macrófagos*.

Cuando el sistema inmunitario opera de manera eficiente, nos protege de la mayoría de las bacterias, virus, órganos transplantados o injertos, e incluso de células propias que puedan haberse vuelto contra nosotros. El sistema inmunitario realiza estas funciones tanto directamente, por medio de ataque celular, como indirectamente, lanzando agentes químicos movilizadores y moléculas de anticuerpos protectoras. La resistencia altamente específica a la enfermedad resultante se denomina **inmunidad** (*immun* = libre). Al contrario que las defensas innatas, siempre preparadas para defender el organismo, el sistema adaptativo ha de sufrir una exposición inicial a la sustancia extraña (antígeno) antes de que pueda protegerlo contra el invasor. No obstante, las carencias del sistema adaptativo en cuanto a rapidez quedan compensadas con la precisión de su contraataque. Aunque los consideraremos por separado, no hay que olvidar que las defensas innata y adaptativa siempre trabajan juntas para proteger el organismo.

Defensas innatas del organismo

Parte de la resistencia innata a la enfermedad es hereditaria. Por ejemplo, hay algunas enfermedades que el ser humano no puede padecer, como algunas formas de tuberculosis que afectan únicamente a las aves. Sin embargo, más a menudo, la *defensa corporal innata* o *no-específica* hace referencia a las barreras mecánicas que cubren la superficie del organismo, así como a las células y agentes químicos que actúan en los frentes de batalla iniciales, para proteger al organismo de los **patógenos** invasores. La Tabla 12.1 (pág. 414) facilita un resumen más detallado de las defensas innatas más importantes.

Barreras de la membrana de superficie

La *primera línea de defensa* del organismo contra la invasión de microorganismos causantes de enfermedades es la *piel* y las *membranas mucosas*. Siempre que la piel esté intacta, su epidermis queratinizada será una fuerte barrera contra la mayoría de los microorganismos que se mueven por la piel. Las membranas mucosas intactas facilitan barreras mecánicas similares dentro del organismo. Recordemos que las membranas mucosas rodean todas las cavidades del organismo abiertas al exterior: los tractos digestivo, respiratorio, urinario y reproductor. Además de servir como barrera física, estas membranas generan una variedad de secreciones protectoras:

1. El pH ácido de las secreciones dérmicas (pH de 3-5) inhibe el crecimiento bacteriano, y el sebo contiene agentes químicos que resultan tóxicos para las bacterias. Las secreciones vaginales de la mujer adulta también son muy ácidas.
2. La mucosa estomacal secreta ácido hidroclórico y enzimas proteolíticas. Ambos destruyen los patógenos.
3. La saliva y el fluido lacrimal contienen **lisozima,** una enzima que destruye las bacterias.
4. La pegajosa mucosidad atrapa muchos microorganismos que penetran a través de las entradas digestiva y respiratoria.

Algunas mucosas también cuentan con modificaciones estructurales que protegen de invasores potenciales. El vello cubierto de mucosa de las fosas nasales atrapa las partículas que inhalamos, y la mucosa del tracto respiratorio es ciliada. Los cilios barren la mucosa cargada de polvo y bacterias superiormente hacia la boca, evitando que penetre en los pulmones, donde el cálido y húmedo ambiente facilita una zona ideal para el crecimiento bacteriano.

Aunque las barreras de superficie son bastante efectivas, *se* rompen de vez en cuando debido a pequeñas muescas o cortes como resultado, por ejemplo, de lavarse los dientes o afeitarse. Cuando esto ocurre y los microorganismos invaden tejidos más profundos, los mecanismos innatos internos entran en juego.

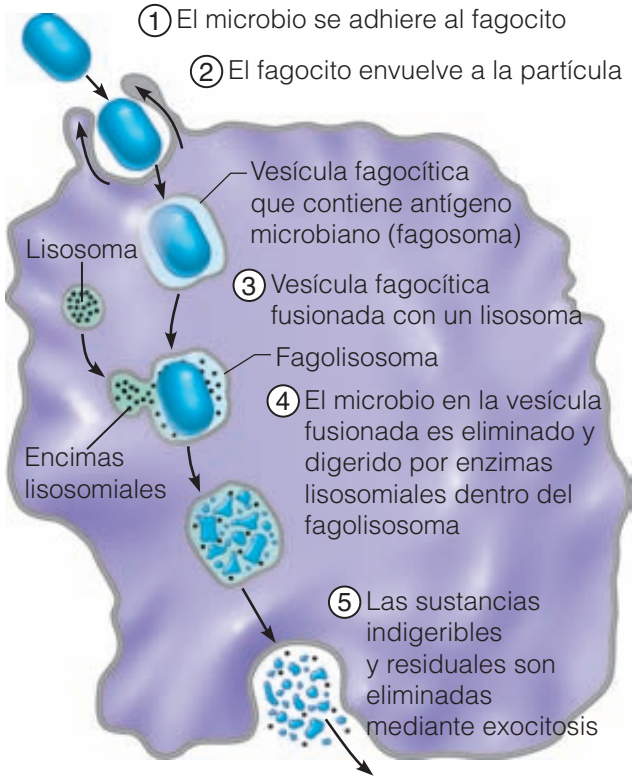
Defensas internas: células y sustancias químicas

Como *segunda línea defensiva* el organismo utiliza un enorme número de células y sustancias químicas para protegerse. Estas defensas cuentan con el poder destructivo de los *fagocitos* y los *linfocitos citolíticos naturales,* con la respuesta inflamatoria y con diversas sustancias químicas que matan patógenos y ayudan a reparar el tejido. La fiebre también es considerada una respuesta protectora no específica.

Fagocitos

Los patógenos que atraviesan las barreras mecánicas se enfrentan a los **fagocitos** (*phago* = comer) en casi todos

(a)



(b)

FIGURA 12.7 Fagocitosis por un macrófago. (a) Este microscopio electrónico de barrido (2.600×) en color generado por ordenador muestra un macrófago atrayendo bacterias *Escherichia coli* con forma de salchicha con sus largas extensiones citoplásmicas. Varias bacterias sobre la superficie del macrófago son tragadas.
(b) Fases de la fagocitosis.

los órganos del cuerpo. Un fagocito, como por ejemplo un *macrófago* o un *neutrófilo*, se traga una partícula extraña de forma muy similar a la que una ameba ingiere una partícula de alimento (Figura 12.7). Las extensiones citoplásmicas flotantes se adhieren a la partícula y a continuación la atraen hacia sí, encerrándola en una vacuola. La vacuola se fusiona a continuación con los contenidos enzimáticos de un *lisosoma,* y su contenido se destruye o digiere.

Linfocitos citolíticos naturales

Los linfocitos citolíticos naturales (NK), que "vigilan" el organismo desde la sangre y la linfa, son un grupo único de linfocitos que puede lisar y matar células cancerígenas y células del organismo infectadas por virus mucho antes de que las defensas adaptativas del sistema inmunitario entren en juego. Al contrario que los linfocitos del sistema adaptativo, que pueden reconocer y reaccionar únicamente ante células *específicas* cancerígenas o infectadas por virus, éstos son mucho menos "selectivos". Son capaces de actuar de manera espontánea ante *cualquier* objetivo mediante el reconocimiento de ciertos azúcares en la superficie del "intruso", así como por su carencia en ciertas moléculas de superficie celular "propia". Las células NK no son fagocíticas. Atacan la membrana de la célula diana y liberan una sustancia química lítica denominada *perforina.* Poco después, la membrana y el núcleo de la célula diana y el núcleo se desintegran.

Respuesta inflamatoria

La **respuesta inflamatoria** es una respuesta no específica que se produce cada vez que cualquier tejido del organismo es dañado (Figura 12.8). Por ejemplo, aparece como respuesta a un trauma físico, calor intenso o sustancias químicas irritantes, así como ante infecciones por bacterias o virus. Los cuatro indicadores más comunes *(señales cardinales)* de una inflamación aguda son *rubefacción, calor* (*inflamm* = arder), *hinchazón,* y *dolor.* Es

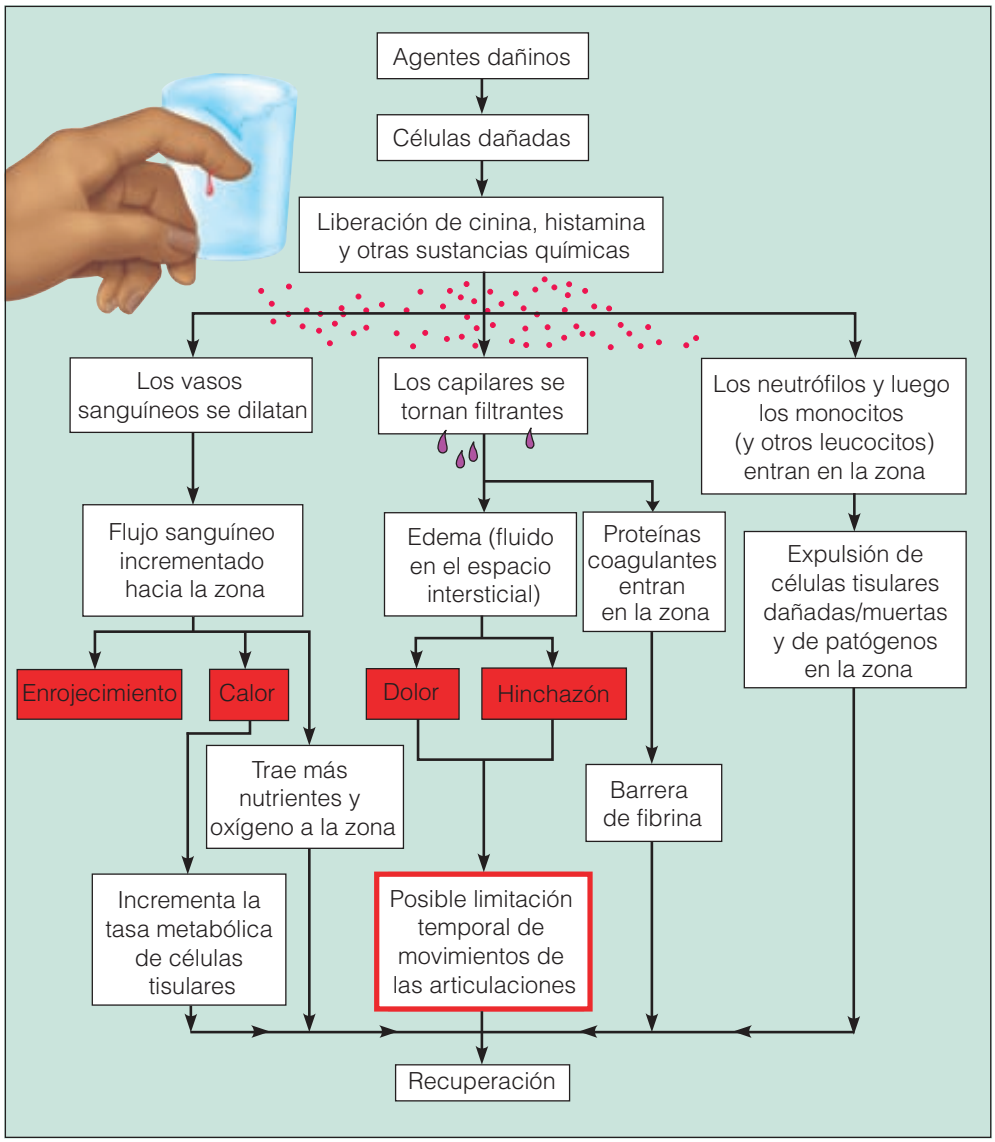


FIGURA 12.8 Algoritmo de los mecanismos inflamatorios.
Los cuatro indicadores más comunes (señales cardinales) de una inflamación aguda aparecen en los recuadros rojos. La limitación de movimiento de la articulación (marco rojo) ocurre en algunos casos y es considerada como el quinto signo cardinal de inflamación aguda.

fácil entender por qué se producen estos signos y síntomas, una vez comprendidos los mecanismos de la respuesta inflamatoria.

El proceso inflamatorio comienza con una "alarma" química. Cuando las células son dañadas, liberan sustancias químicas inflamatorias, entre ellas **histamina** y **cininas,** que (1) provocan que los vasos sanguíneos de la zona afectada se dilaten y los capilares rezumen, (2) activan los receptores del dolor, y (3) atraen a los fagocitos y a los glóbulos blancos a la zona. (Este último fenómeno se denomina **quimiotaxis** debido a que las células siguen un gradiente químico.) La dilatación de los vasos sanguíneos incrementa el flujo de sangre a la zona, lo que causa la rubefacción y el calor característicos. El incremento de la permeabilidad de los capilares permite que el plasma gotee desde la sangre hasta los espacios tisulares, causando un edema local (inflamación) que también activa los re-

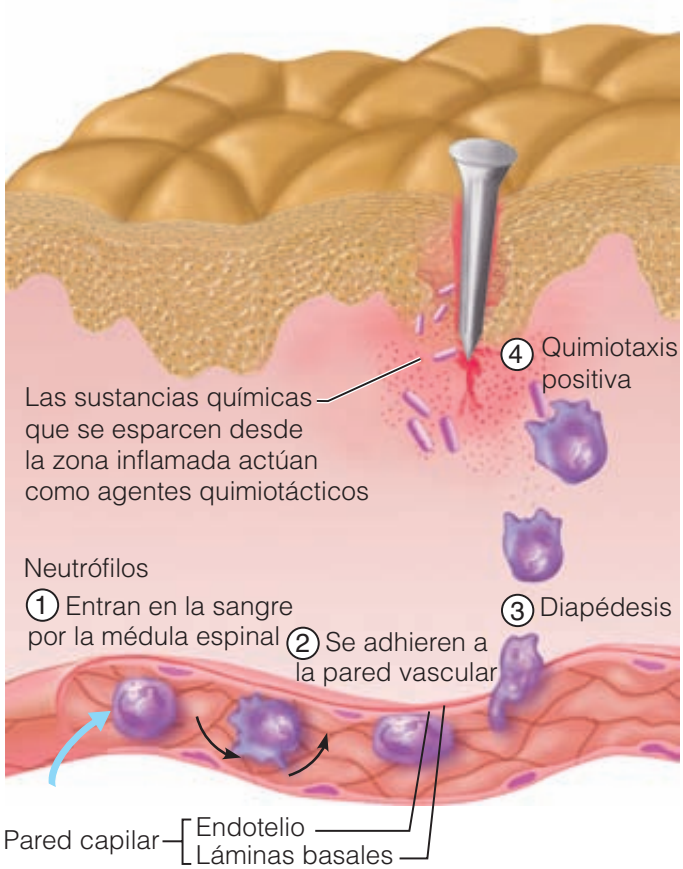


FIGURA 12.9 **Movilización fagocítica.**

ceptores de dolor de la zona. Si la zona inflamada y dolorida es una articulación, su función (el movimiento) le será impedida de forma temporal. Esto obliga a la parte dañada a descansar, pues ello ayuda a su curación. Hay quienes consideran que la limitación de la movilidad de la articulación es una señal cardinal adicional (la quinta) de inflamación.

La respuesta inflamatoria (1) previene la propagación de agentes dañinos a los tejidos cercanos, (2) elimina los desechos de células y patógenos, y (3) prepara el escenario para la reparación. Echemos un vistazo a cómo se llevan a cabo estas tareas. En el transcurso de una hora más o menos una vez comenzado el proceso inflamatorio, los neutrófilos se estrujan a través de las paredes capilares, proceso denominado **diapédesis** (Figura 12.9). Arrastrados a la zona por las sustancias químicas inflamatorias, los neutrófilos comienzan una limpieza detallada engullendo los tejidos dañados o muertos de las células y/o los patógenos. Según continúa el contraataque, los monocitos comienzan a abandonar la sangre y a seguir a los neutrófilos hacia la zona inflamada. Los monocitos son fagocitos bastante deficientes, pero entre 8 y 12 horas tras penetrar en los tejidos se convierten en macrófagos de apetito insaciable. Los macrófagos continúan con la batalla, reemplazando a los neutrófilos de corta vida. Los macrófagos son los actores principales en la eliminación final de los desechos celulares al tiempo que la inflamación remite.

Además de la fagocitosis, también tienen lugar otros mecanismos de protección en la zona inflamada. Las proteínas coagulantes, filtradas en la zona desde la sangre, se activan y comienzan a amurallar la zona dañada con fibrina para prevenir la expansión de los patógenos o los agentes dañinos a los tejidos cercanos. La malla de fibrina también constituye un andamiaje para la reparación permanente. El calor local incrementa el ritmo metabólico de las células del tejido, incrementando con rapidez sus acciones defensivas y sus procesos de reparación.

Si la zona dañada contiene patógenos que ya han invadido el organismo con anterioridad, la *tercera línea defensiva* también entra en juego: la respuesta adaptativa mediada por los linfocitos. Tanto los anticuerpos protectores como las células T (linfocitos T) invaden la zona para actuar específica y directamente contra los agentes dañinos. (En breve hablaremos sobre esta respuesta.)

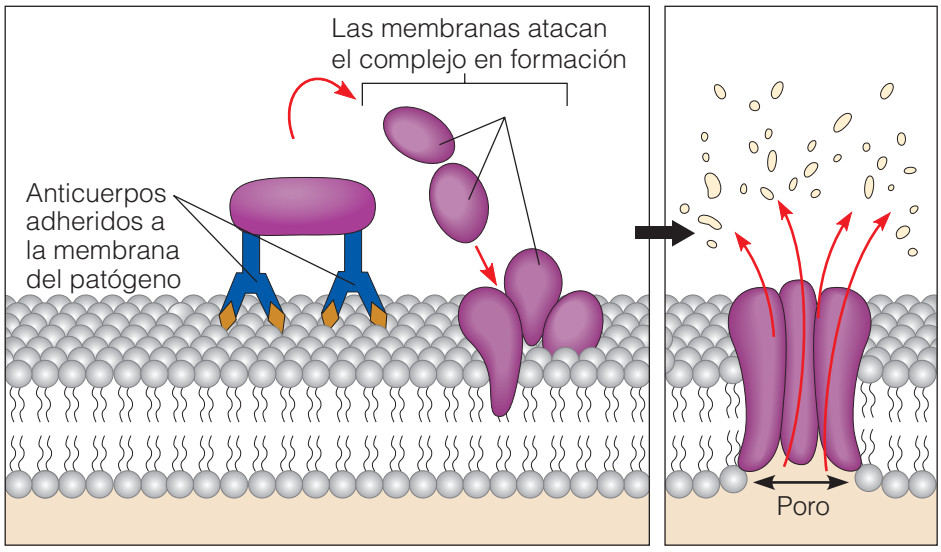


FIGURA 12.10 **Activación del complemento que causa la lisis de la célula diana.**

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En las zonas gravemente infectadas, la batalla se cobra un considerable precio en ambos bandos, y un pus cremoso y amarillo puede formarse en la herida. El **pus** es una mezcla de neutrófilos muertos o casi muertos, células tisulares descompuestas y patógenos vivos y muertos. Si el mecanismo inflamatorio falla a la hora de limpiar la zona de desechos, el saco de pus puede quedar encerrado, formando un *absceso*. A menudo es necesario realizar un drenaje quirúrgico antes de que pueda alcanzarse la curación total. ▲

Proteínas antimicrobianas

Diversas **proteínas antimicrobianas** mejoran las defensas innatas atacando los microorganismos directamente o debilitando su capacidad de reproducirse. Las más importantes son las *proteínas del complemento* y el *interferón*.

Complemento El término **complemento** hace referencia a un grupo de al menos 20 proteínas de plasma que circulan en la sangre en un estado inactivo. Sin embargo, cuando el complemento es sujetado, o *fijado*, a células invasoras, tales como bacterias, hongos o glóbulos rojos incompatibles, se activa y se convierte en un factor principal en la lucha contra las células invasoras. Esta **fijación del complemento** ocurre cuando las proteínas del complemento se unen a ciertos azúcares o proteínas (tales como los anticuerpos) en la superficie de la célula invasora. Un resultado de la fijación del complemento es la formación de los **complejos de ataque a la membrana (MAC),** que producen lesiones, consistentes en orificios, sobre la superficie de la célula invasora (Figura 12.10). Estas lesiones permiten que el agua acuda rápidamente a la célula, haciendo que reviente. El complemento activado también simplifica la respuesta inflamatoria. Algunas de las moléculas liberadas durante el proceso de activación son los *vasodilatadores*, así como algunos *agentes quimiotácticos* que atraen a los neutrófilos y los macrófagos a la zona afectada. Otras provocan que las membranas celulares de las células invasoras se tornen pegajosas para facilitar su fagocitación; este efecto se denomina *opsonización*. Aunque el ataque del complemento a menudo va dirigido a microorganismos específicos que han sido "identificados" por el enlace del anticuerpo, el complemento en sí mismo es un mecanismo de defensa no específico que "complementa" o mejora la efectividad de *ambas* defensas, las innata y la adaptativa.

Interferón Los virus (fundamentalmente ácidos nucleicos rodeados por una lámina proteínica) carecen de la maquinaria celular necesaria para generar ATP o fabricar proteínas. Realizan su "trabajo sucio" en el organismo entrando en las células tisulares y ocupando la maquinaria celular necesaria para reproducirse. Aunque las células infectadas por virus en una persona infectada pueden hacer poco por salvarse, sí pueden

TABLA 12.1 Resumen de las defensas no específicas del organismo

Categoría y elementos asociados	Mecanismo de protección
Barreras de la membrana de superficie: primera línea defensiva	
Piel intacta (epidermis)	Forma una barrera mecánica que impide la entrada de patógenos y otras sustancias dañinas en el organismo.
• Manto ácido	Secreciones dérmicas que acidifican la superficie epidérmica, lo que inhibe el crecimiento bacteriano, el sebo también contiene agentes químicos bactericidas.
• Queratina	Proporciona resistencia contra las enzimas ácidas, alcalinas y bacterianas.
Membranas mucosas intactas	Forman barreras mecánicas que impiden la entrada de patógenos.
• Mucosa	Atrapa microorganismos en los tractos respiratorio y digestivo.
• Vello nasal	Filtra y atrapa microorganismos en las fosas nasales.
• Cilio	Arrastra la mucosa cubierta de desechos lejos de las vías respiratorias inferiores.
• Jugo gástrico	Contiene ácido hidroclórico concentrado y enzimas proteolíticas que destruyen los patógenos del estómago.
• Manto ácido vaginal	Evita la proliferación de bacterias y hongos en el tracto reproductor femenino.
• Secreción lacrimal (lágrimas); saliva	Lubrican y limpian continuamente los ojos (lágrimas) y la boca (saliva): contienen lisozima, una enzima que destruye microorganismos.
Defensas celulares y químicas: segunda línea defensiva	
Fagocitos	Tragan y destruyen patógenos que traspasan las barreras de la membrana de superficie; los macrófagos también contribuyen a la respuesta inmunitaria.
Linfocitos citolíticos naturales	Fomentan la lisis celular por medio de un ataque celular directo contra células del organismo cancerígenas o infectadas por virus; no dependen de reconocimiento antígeno-específico.
Respuesta inflamatoria	Previene la extensión de agentes dañinos a los tejidos adyacentes, elimina patógenos y células de tejido muertas, y fomenta la reparación tisular; libera sustancias químicas mediadoras que atraen a los fagocitos (y a las células inmunocompetentes) a la zona dañada.
Agentes químicos antimicrobianos	
• Complemento	Grupo de proteínas de plasma que lisa microorganismos, potencia la fagocitosis mediante opsonización e intensifica la respuesta inflamatoria.
• Interferones	Proteínas liberadas por células infectadas por virus que protegen las células tisulares no infectadas de la invasión viral; movilizan el sistema inmunitario.
• Orina	Normalmente, el pH ácido inhibe la proliferación bacteriana; limpia el tracto urinario inferior al salir del organismo.
Fiebre	Respuesta sistémica desencadenada por agentes pirógenos; la temperatura corporal alta inhibe la multiplicación de bacterias e intensifica el proceso de reparación del organismo.

ayudar a defender aquellas células que aún no han sido infectadas secretando pequeñas proteínas denominadas **interferones.** Las moléculas de interferón se difunden a las células cercanas y se unen a sus receptores de membrana. Este enlace simula la síntesis de las proteínas que "interfieren" con la capacidad de los virus de multiplicarse dentro de estas células aún sanas.

Fiebre

La **fiebre,** o temperatura corporal anormalmente alta, es una respuesta sistémica a los microorganismos invasores. Tal y como se describe con detalle en el Capítulo 14, la temperatura del organismo se regula parcialmente en el hipotálamo, comúnmente denominado "termostato" corporal. Lo normal es que el termostato se encuentre a 37 °C (98,6 °F) aproximadamente, pero puede subir en respuesta a los **pirógenos** (*pyro* = fuego), sustancias químicas secretadas por los glóbulos blancos y los macrófagos expuestos a células o sustancias invasoras en el organismo.

Aunque la fiebre alta es peligrosa, ya que un exceso de calor "altera" las enzimas y otras proteínas del organismo, una fiebre suave o moderada parece beneficiar al organismo. Las bacterias necesitan grandes cantidades de hierro y cinc para multiplicarse, pero durante un proceso febril el hígado y el bazo aglutinan estos nutrientes, haciendo que estén menos disponibles. La fiebre también incrementa el ritmo metabólico de las células tisulares en general, aumentando la velocidad del proceso de reparación.

¿LO HAS ENTENDIDO?

7. ¿En qué se diferencian las defensas innatas y las adaptativas?
8. ¿Cuáles son los cuatro indicadores comunes de la inflamación?
9. ¿Cómo causa el complemento la lisis de un microorganismo patógeno?
10. ¿Qué tipo de microorganismo infeccioso causa que el nivel corporal de interferón aumente?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Defensas adaptativas del organismo

La mayoría de nosotros encontraríamos maravillosamente conveniente poder entrar en una sola tienda y llenar nuestro ropero (desde el sombrero a los zapatos) con prendas que nos quedaran "perfectas", sin tener en cuenta ningún problema con nuestro físico. Sabemos que ese tipo de servicio sería casi imposible de encontrar y, sin embargo, damos por hecho nuestro *sistema de defensa específico*, que persigue y elimina con idéntica precisión casi cualquier tipo de patógeno que se cuele en el organismo.

La respuesta del sistema inmunitario a una amenaza, denominada **respuesta inmunitaria,** implica a unas defensas no específicas internas incrementadas en gran manera (respuestas inflamatorias y demás) y facilita protección que está dirigida de forma cuidadosa contra antígenos *específicos*. Más aún, la exposición inicial a un antígeno "insta" al organismo a reaccionar de forma más enérgica ante futuros encuentros con el mismo antígeno.

A veces denominado *tercera línea defensiva*, el sistema de defensa específico es un sistema funcional que reconoce moléculas invasoras (antígenos) y actúa para desactivarlas o destruirlas. Normalmente nos protege de una amplia variedad de patógenos, así como de células anómalas del organismo. Cuando falla, funciona mal o está desconectado, pueden aparecer algunas de las enfermedades más devastadoras, tales como el cáncer, la artritis reumatoide o el sida.

Aunque la *Inmunología*, el estudio de la inmunidad, es una ciencia bastante reciente, los antiguos griegos ya sabían que una vez que alguien había sufrido alguna enfermedad infecciosa, era raro que esa persona volviera a padecerla de nuevo. La base de esta inmunidad fue descubierta a finales de 1800, cuando se demostró que los animales que sobrevivían a una infección bacteriana grave tenían "factores" en su sangre que les protegían de futuros ataques del mismo patógeno. (En la actualidad se sabe que estos factores son proteínas únicas, denominadas *anticuerpos*). Más aún, se demostró que si el suero con contenido del anticuerpo extraído del animal superviviente (suero inmune) era inyectado en animales que no habían estado expuestos al patógeno, esos animales también estarían protegidos. Estos experimentos de referencia revelaron tres aspectos importantes de la defensa adaptativa:

1. **Es antígeno-específico:** reconoce y actúa contra patógenos *concretos* o contra sustancias extrañas.
2. **Es sistémico:** la inmunidad no queda restringida a la zona inicial de la infección.
3. **Tiene "memoria":** reconoce y organiza ataques incluso más fuertes sobre patógenos con los que ha tenido encuentros con anterioridad.

Eran hallazgos emocionantes, pero entonces, a mediados de 1900, se descubrió que la inyección de suero que contenía los anticuerpos no siempre protegía al receptor de las enfermedades a las que había sobrevivido el donante. Sin embargo, en tales casos, la inyec-

ción de los linfocitos del donante *sí* proporcionó inmunidad.

Según se fueron encajando las piezas, se reconocieron dos ramas separadas, aunque solapadas, del sistema de defensa adaptativo. La **inmunidad humoral,** también denominada **inmunidad mediada por anticuerpos,** la proporcionan los anticuerpos presentes en los "humores" o fluidos corporales. Cuando los linfocitos defienden el organismo por sí mismos, la inmunidad se denomina **inmunidad celular** o **inmunidad de mediación celular,** pues el factor de protección son las células vivas. La rama celular también cuenta con dianas celulares (células tisulares infectadas por virus, células cancerígenas y células de injertos extraños). Los linfocitos actúan contra tales objetivos, bien *directamente*, lisando las células extrañas, bien *indirectamente*, liberando sustancias químicas que mejoran la respuesta inflamatoria o activan otras células inmunes. Sin embargo, antes de describir las respuestas humoral y celular por separado, consideraremos los antígenos que desencadenan la actividad de las extraordinarias células relacionadas con estas respuestas inmunitarias.

Antígenos

Un **antígeno (Ag)** es cualquier sustancia capaz de movilizar el sistema inmunitario y provocar una respuesta inmunitaria. La mayoría de los antígenos son moléculas grandes y complejas que no suelen estar presentes en el organismo. En consecuencia, en lo que al sistema inmunitario se refiere, son intrusos, o **no propios.** Una variedad de sustancias casi ilimitada puede actuar como antígenos, incluyendo casi todas las proteínas extrañas, los ácidos nucleicos, muchos carbohidratos complejos y algunos lípidos. De todos ellos, las proteínas son los antígenos más fuertes. Los granos de polen y microorganismos tales como partículas de bacterias, hongos y virus son *antígenos* porque sus superficies contienen dichas moléculas extrañas.

También es importante recordar que nuestras propias células están repletas de gran variedad de moléculas proteínicas (autoantígenos). De alguna manera, al tiempo que nuestro sistema inmunitario se desarrolla, hace inventario de todas esas proteínas, de manera que a partir de ese momento se reconozcan como propias. Aunque estos **autoantígenos** no desencadenen una respuesta inmunitaria en el organismo, *sí son* antígenos poderosos para otras personas. Esto explica por qué el organismo rechaza las células de los órganos transplantados o los injertos, a no ser que se tomen medidas especiales (medicamentos u otras) para paralizar o reprimir la respuesta inmunitaria.

Por regla general, las moléculas pequeñas no son antigénicas, pero cuando se acoplan a nuestras propias proteínas, el sistema inmunitario podría reconocer la combinación como extraña y preparar un ataque que resultaría más dañino que protector. (Tales reacciones, denominadas alergias, se describen en las págs. 429-430.) En tales casos, la problemática pequeña molécula pasa a denominarse **hapteno** (*haptein* = sujeción), o **antígeno incompleto.**

Además de ciertos medicamentos, las sustancias químicas que actúan como haptenos se encuentran en la hiedra venenosa, en el pelo animal e incluso en algunos detergentes, tintes para el pelo, cosméticos, y otros productos industriales comúnmente utilizados en el hogar.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Quizá el ejemplo más dramático y familiar de un medicamento hapteno que provoca una respuesta inmunitaria sea el enlace de la penicilina con las proteínas de la sangre, que origina una **reacción a la penicilina** en algunas personas. En tales casos, el sistema inmunitario organiza un ataque tan agresivo que pone en peligro la vida de esa persona. ▲

Células del sistema de defensa adaptativo: resumen

Las células cruciales del sistema adaptativo son los linfocitos y los macrófagos. Existen dos tipos principales de linfocitos: los **linfocitos B,** o **células B,** producen anticuerpos y supervisan la inmunidad, y los **linfocitos T,** o **células T,** son linfocitos no productores de anticuerpos que constituyen el arma celular del sistema de defensa adaptativo. Al contrario que los dos tipos de linfocitos, los macrófagos no responden a antígenos específicos, si no que juegan un papel esencial a la hora de ayudar a los linfocitos que sí lo hacen.

Linfocitos

A igual que todas las células sanguíneas, los linfocitos tienen su origen en los hemocitoblastos de la médula ósea roja (Figura 12.11). Los linfocitos inmaduros liberados de la médula son prácticamente idénticos. Que un linfocito pase a ser una célula B o T depende de la parte del cuerpo en que se encuentre cuando se convierta en **inmunocompetente,** es decir, capaz de responder a un antígeno específico uniéndose a él. Las células **T** surgen de los linfocitos que migran al timo (véase la Figura 12.11), donde sufren un proceso de maduración durante dos o tres días, dirigido por las hormonas tímicas (*timosina* y otras). Dentro del timo, los linfocitos inmaduros se dividen rápidamente y su número se incrementa de manera considerable, pero sólo sobreviven aquellas células T maduras con la mejor capacidad para identificar antígenos *extraños*. Los linfocitos capaces de unirse firmemente a los *autoantígenos* (y de actuar

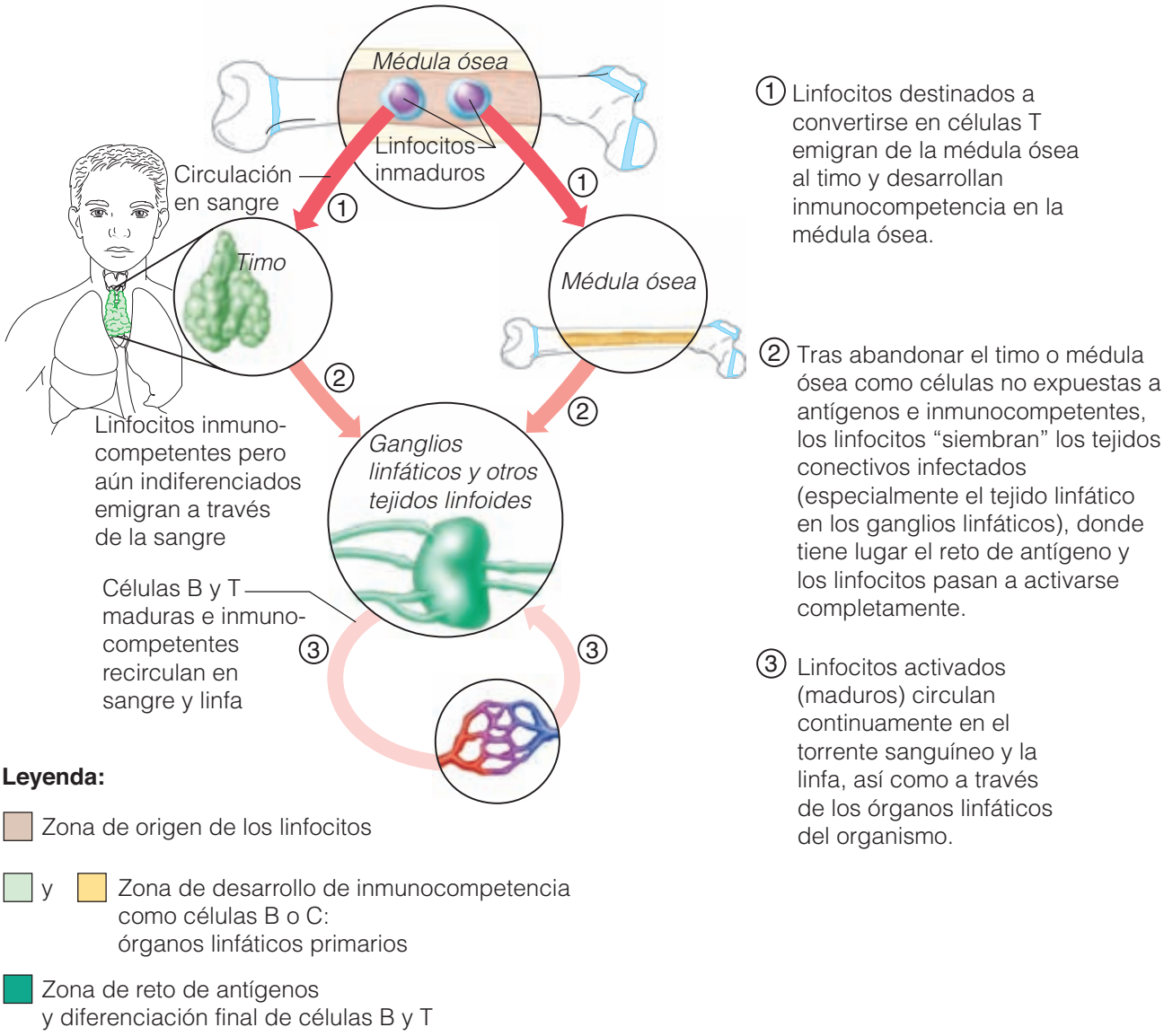


FIGURA 12.11 **Diferenciación y activación de los linfocitos.**

contra las células del organismo) son enérgicamente arrancados y destruidos. De ahí el desarrollo de la **autotolerancia,** ya que las células del propio organismo son parte esencial de la "educación" de un linfocito. Esto es así no sólo para las células T sino también para las células B. Las células **B** desarrollan inmunocompetencia en la médula, pero se sabe poco sobre los factores que regulan la maduración de las células B.

Una vez que un linfocito pasa a ser inmunocompetente, será capaz de reaccionar ante un antígeno en particular, y sólo uno, porque *todos* los receptores de antígenos son iguales en la superficie. Por ejemplo, los receptores de un linfocito pueden reconocer sólo una parte del virus de la hepatitis A, los de otros linfocitos pueden reconocer sólo la bacteria neumococo, etc.

Aunque todos los detalles del proceso de maduración siguen estando fuera de nuestro alcance, sabemos que los linfocitos se convierten en inmunocompetentes *antes* de su encuentro con los antígenos que tal vez ataquen en el futuro. Por lo tanto, *son nuestros genes, y no los antígenos, los que determinan qué sustancias extrañas específicas podrá reconocer y combatir nuestro sistema inmunitario.* Sólo algunos de los posibles antígenos que nuestros linfocitos están programados para resistir invadirán nuestro organismo alguna vez. En consecuencia, sólo algunos miembros del ejército

de células inmunocompetentes se movilizarán durante nuestra vida. El resto permanecerán ociosos para siempre. Como de costumbre, el organismo hace todo lo que puede para protegernos.

Una vez convertidas en inmunocompetentes, tanto las células T como las B migran a los ganglios linfáticos y al bazo (y a los tejidos conectivos laxos), donde tendrán lugar los encuentros con los antígenos (véase la Figura 12.11). Entonces, cuando los linfocitos se unen a los antígenos reconocidos, completan su diferenciación hacia células T y B completamente maduras.

Macrófagos

Los **macrófagos,** que también se distribuyen ampliamente a través de los órganos linfoides y los tejidos conectivos, surgen de los *monocitos* formados en la médula ósea. Tal y como describimos anteriormente, el papel principal de los macrófagos (literalmente, "grandes comedores") en el sistema de defensa innato es atrapar las partículas extrañas y expulsarlas de la zona. Pero su trabajo no termina ahí, también presentan fragmentos de esos antígenos, como indicadores de alerta, en su propia superficie, donde podrán ser reconocidos por las células T inmunocompetentes. De esta manera, pueden actuar como *presentadores de antígenos* en el sistema de defensa adaptativo. Los macrófagos también secretan proteínas **citoquinas** que son importantes en la respuesta inmunitaria (véase la Tabla 12.3, págs. 426-427). A su vez, las células T activadas liberan sustancias químicas que hacen que los macrófagos se conviertan en fagocitos insaciables o *macrófagos asesinos.* Como se puede apreciar, las interacciones entre linfocitos y macrófagos determinan prácticamente todas las fases de la respuesta inmunitaria adaptativa.

Los macrófagos tienden a permanecer fijados a los órganos linfoides (como si esperasen que los antígenos fuesen a ellos), pero los linfocitos, en especial las células T, circulan continuamente por el organismo (véase la Figura 12.11). Esto tiene sentido, ya que al circular se incrementa en gran medida la posibilidad de que un linfocito entre en contacto con antígenos recogidos por los capilares linfáticos de los espacios tisulares, así como con grandes cantidades de macrófagos y otros linfocitos.

En resumen, el sistema inmunitario adaptativo es un arma defensiva de dos ramas: una rama humoral y una rama celular, que utiliza linfocitos, macrófagos y moléculas específicas para identificar y destruir todas las sustancias (tanto vivas como no vivas) que están en el organismo pero no son reconocidas como propias. La capacidad del sistema inmunitario de responder a tales amenazas depende de la capacidad de sus células para (1) reconocer sustancias extrañas (antígenos) en el organismo y unirse a ellas, y (2) comunicarse entre sí para que el sistema como conjunto organice una respuesta específica a esos antígenos.

¿LO HAS ENTENDIDO?

11. ¿Cuál es la diferencia entre antígeno y autoantígeno?
12. ¿Cuáles son los dos tipos de linfocitos involucrados en la respuesta inmunitaria adaptativa, y en qué se diferencian sus funciones en lo que a la protección del organismo se refiere?
13. ¿Dónde se produce la fase principal de "programación" en la cual las células T se vuelven inmunocompetentes?
14. ¿Cuál es el papel más importante de los macrófagos en la inmunidad adaptativa?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Respuesta inmunitaria humoral (mediada por anticuerpos)

Un linfocito B inmunocompetente pero aún inmaduro es estimulado para que complete su desarrollo (a una célula B completamente madura) cuando los antígenos se unen a sus receptores de superficie. Este acontecimiento *sensibiliza,* o *activa,* el linfocito, que se "enciende" y pasa una **selección clonal.** El linfocito comienza a crecer y luego se multiplica rápidamente para formar un ejército de células exactamente iguales a él mismo con los mismos receptores de antígeno (Figura 12.12). La familia de células idénticas resultante que desciende de la *misma* célula antecesora se denomina **clon,** y la formación del clon es la **respuesta humoral primaria** a ese antígeno. (Como se describe más adelante, las células T también influyen en la activación de las células B.)

La mayor parte de los miembros del clon de la célula B, o sus descendientes, se convierten en **células plasmáticas.** Tras un periodo inicial de demora, estas "fábricas" productoras de anticuerpos entran en acción, generando los mismos anticuerpos altamente específicos al sorprendente ritmo de 2.000 moléculas de anticuerpo por segundo. (Por sí mismas, las células B producen únicamente pequeñas cantidades de anticuerpos.) Sin embargo, esta vorágine de actividad sólo dura entre cuatro y cinco días; en ese momento, las células de plasma comienzan a morir. Los niveles de anticuerpos en sangre durante esta primera respuesta alcanzan su punto máximo unos diez días tras el comienzo de la misma y después descienden lentamente (Figura 12.13).

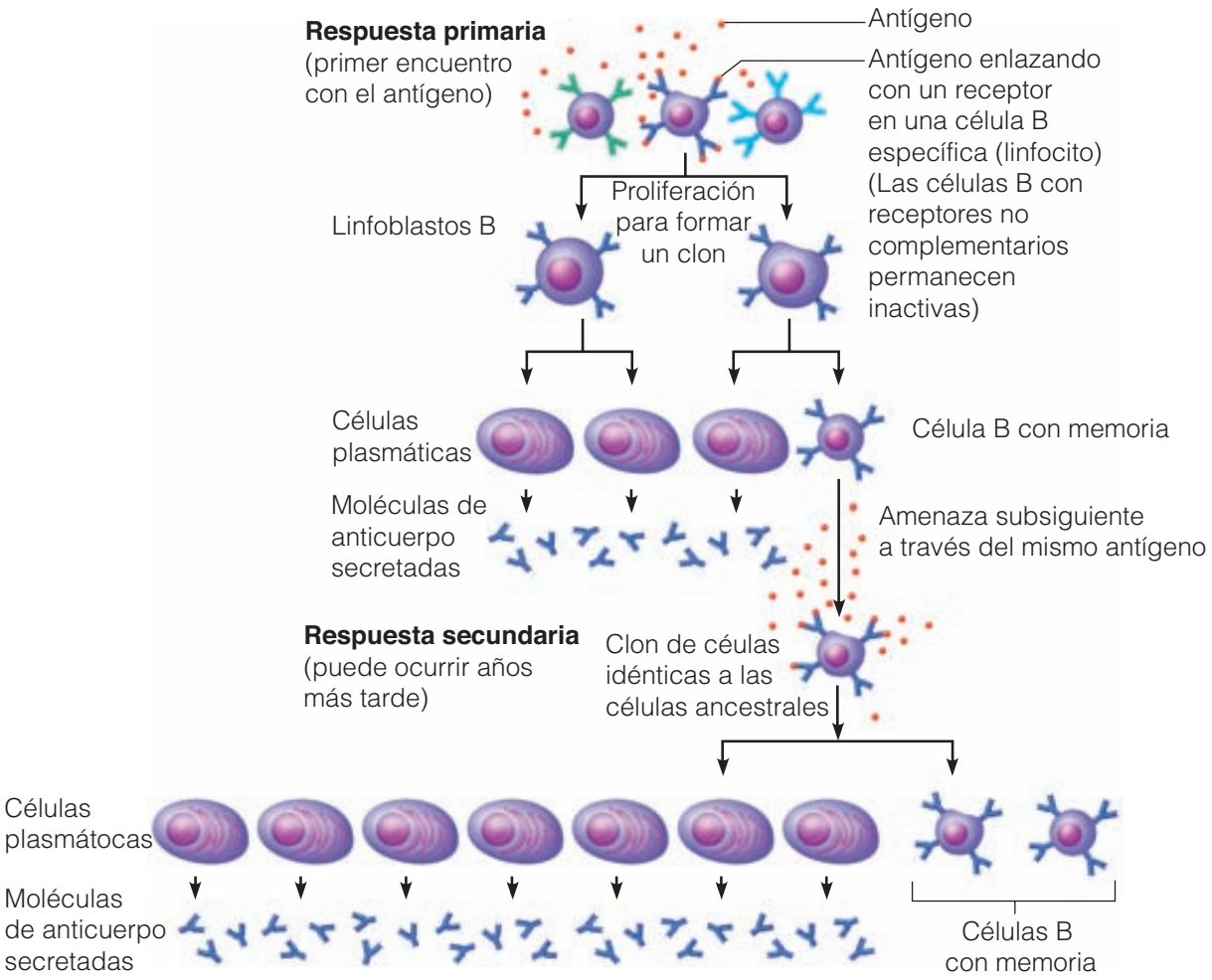


FIGURA 12.12 Selección clonal de una célula B estimulada por su unión a un antígeno. Los encuentros iniciales estimulan la respuesta primaria en la cual las células B proliferan con rapidez, formando un clon de células similares (expansión clonal), la mayoría de las cuales se convierten en células de plasma productoras de anticuerpos. Las células que no se transforman en células plasmáticas se convierten en células con memoria, que responden a exposiciones posteriores al mismo antígeno. En el caso de tener lugar dicho encuentro, las células de memoria producen rápidamente más células de memoria y un mayor número de células de plasma inductoras con la misma especificidad antigénica. Las respuestas generadas por las células de memoria se denominan respuestas secundarias.

Los miembros del clon de la célula B que no se convierten en células plasmáticas se convierten en **células de memoria** de larga duración capaces de responder al mismo antígeno en encuentros posteriores con él. Las células de memoria son responsables de la **memoria inmunitaria** mencionada con anterioridad. Estas respuestas inmunitarias posteriores, denominadas **respuestas humorales secundarias,** se producen más rápidamente, son más prolongadas y más efectivas que los mecanismos de la respuesta primaria, ya que todos los preparativos para su ataque ya han tenido lugar. En pocas horas, tras reconocer al "antiguo enemigo" antigénico, se genera un nuevo ejército de células de plasma y los anticuerpos fluyen hacia el torrente sanguíneo. En dos o tres días, los niveles de anticuerpos en sangre llegan al máximo (hasta unas niveles muy superiores a los alcanzados en la respuesta primaria), y dichos niveles permanecen altos durante semanas o incluso meses. En breve veremos cómo los anticuerpos protegen el organismo.

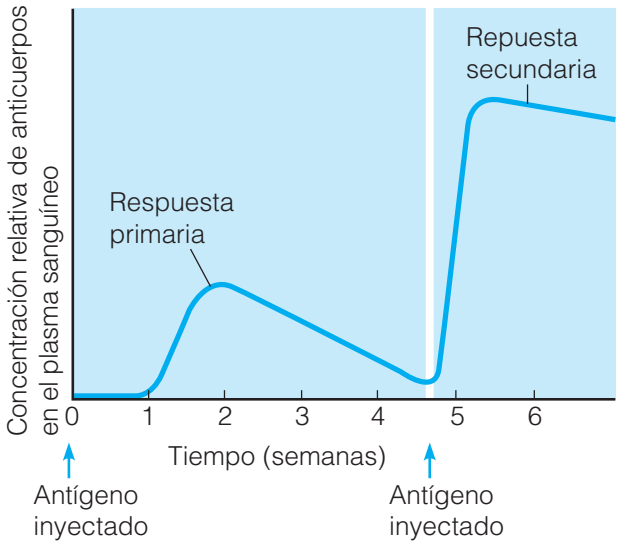


FIGURA 12.13 Respuestas humorales primaria y secundaria a un antígeno. En la respuesta primaria, el nivel de anticuerpos en sangre se incrementa gradualmente y luego desciende con rapidez. La respuesta secundaria es más rápida y más intensa. Además, los niveles de anticuerpos permanecen altos durante mucho más tiempo.

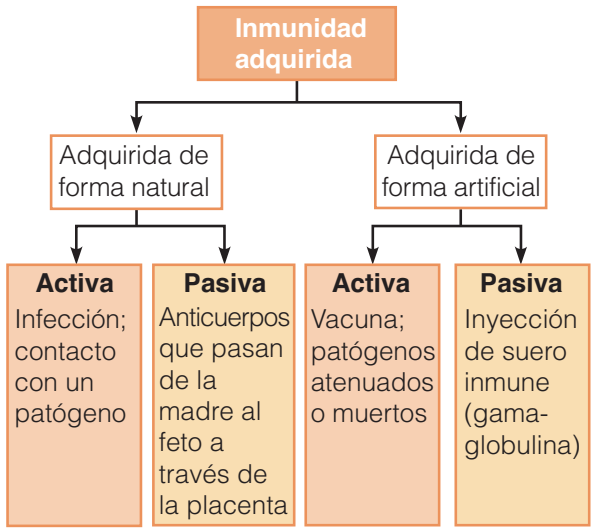


FIGURA 12.14 Tipos de inmunidad adquirida. Los recuadros naranjas representan los tipos activos de inmunidad en los que se establece la memoria inmunitaria. En los recuadros dorados se representan los tipos de inmunidad pasiva de corta duración; no se incluye memoria inmunitaria.

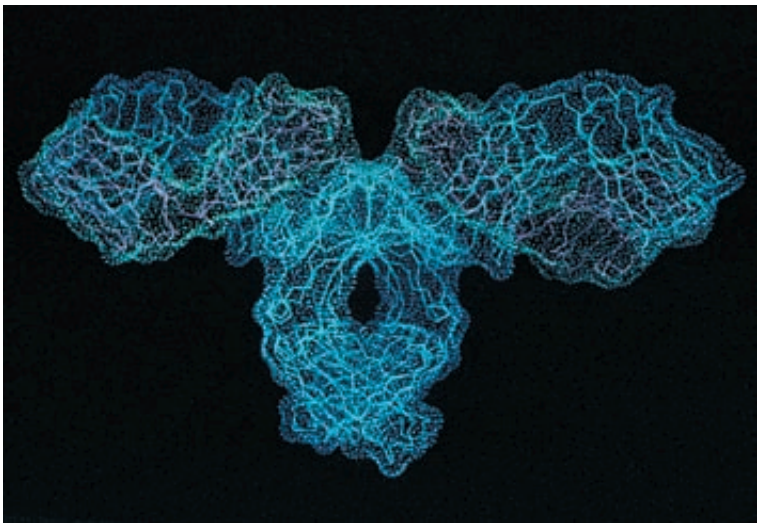
Inmunidad humoral activa y pasiva

Cuando las células B encuentran antígenos y producen anticuerpos contra ellos, nos encontramos ante la **inmunidad activa** (Figura 12.14). La inmunidad activa se adquiere (1) *de forma natural* durante procesos infecciosos bacterianos y virales, durante los cuales podemos desarrollar los signos y síntomas de la enfermedad y sufrir un poco (o mucho), y (2) *de forma artificial* al recibir **vacunas.** La diferencia en la forma en la que el antígeno invade el organismo, bien sea por sus propios medios o introducido en forma de vacuna, es irrelevante. La respuesta del sistema inmunitario es muy similar. En realidad, una vez que se ha reconocido que las respuestas secundarias son mucho más enérgicas, el resto consiste en desarrollar vacunas que "primen" la respuesta inmunitaria facilitando un primer contacto con el antígeno. La mayoría de las vacunas contienen patógenos muertos o *atenuados* (vivos pero extremadamente debilitados).

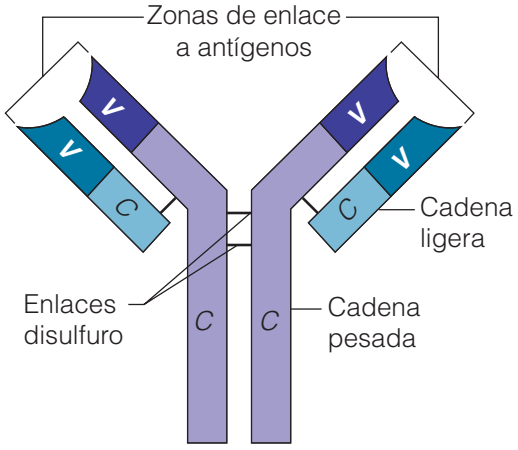
Las vacunas proporcionan dos beneficios: (1) nos evitan la mayoría de los signos y síntomas (y el malestar) de la enfermedad que de otro modo tendrían lugar durante la respuesta primaria y (2) los antígenos debilitados siguen teniendo la capacidad de estimular la producción de anticuerpos y fomentar la memoria inmunitaria. Las denominadas *vacunas de refuerzo,* que pueden intensificar la respuesta inmunitaria en encuentros posteriores con el mismo antígeno, también están disponibles. Las vacunas han eliminado casi por completo la viruela y en la actualidad están disponibles contra microorganismos que causan neumonía, polio, tétanos, difteria, tos ferina, sarampión y muchas otras enfermedades. En Estados Unidos, muchas enfermedades infantiles potencialmente peligrosas se han visto reducidas de forma drástica gracias a los programas de inmunización activa.

La inmunidad pasiva difiere bastante de la activa, tanto en la fuente del anticuerpo como en el grado de protección que facilita (véase la Figura12.14). En vez de estar hechos a partir del plasma del propio organismo, los anticuerpos se obtienen del suero de un donante humano o animal inmune. Como resultado, las células B *no* son estimuladas por el antígeno, la memoria inmunitaria *no* se produce y la protección temporal facilitada por los "anticuerpos prestados" termina cuando se degradan de forma natural en el organismo.

La inmunidad pasiva se otorga *de forma natural* al feto cuando los anticuerpos de la madre atraviesan la placenta y entran en la circulación sanguínea fetal y tras el parto, durante la lactancia. Durante varios meses tras el parto, el bebé permanece protegido contra todos los antígenos a los que la madre haya estado expuesta.



(a)



(b)

FIGURA 12.15 **Estructura básica de un anticuerpo. (a)** Imagen obtenida por ordenador. **(b)** Estructura simplificada en diagrama. La estructura básica (monómero) de cada tipo de anticuerpo está formada por cuatro cadenas polipéptidas (dos cadenas ligeras y dos pesadas) unidas entre sí mediante enlaces disulfuro. Cada cadena tiene una zona variable (V) (distinta en anticuerpos diferentes) y una constante (C) (idéntica en esencia en distintos anticuerpos de la misma clase). Las regiones variables son las zonas de enlace con el antígeno del anticuerpo.

La inmunidad pasiva se confiere *artificialmente* al recibir suero inmune o gammaglobulina. La gammaglobulina se suele administrar tras la exposición a la hepatitis. Otros sueros inmunes se utilizan para tratar las mordeduras de serpientes venenosas *(antídoto)*, el botulismo, la rabia y el tétanos *(antitoxina),* pues estas enfermedades matarían a una persona antes de que la inmunidad activa pudiera establecerse. Los anticuerpos donados facilitan protección inmediata, pero su efecto es de breve duración (entre dos y tres semanas). Mientras tanto, sin embargo, las defensas del propio organismo toman las riendas.

Además de utilizarse para facilitar inmunidad pasiva, los anticuerpos están preparados para su uso en investigación, pruebas clínicas con fines diagnósticos y para tratar ciertos cánceres. Los **anticuerpos monoclonales** utilizados para tales propósitos se producen a partir de descendientes de una sola célula, y son preparaciones puras de anticuerpos que muestran especificidad por un antígeno y no para otros. Además de su uso para enviar fármacos anticancerígenos al tejido canceroso, los anticuerpos monoclonales se utilizan para diagnosticar el embarazo, la hepatitis y la rabia. También se utilizan para facilitar un diagnóstico precoz y realizar un seguimiento de la extensión de los cánceres profundamente escondidos en el organismo.

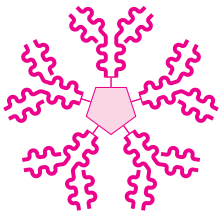
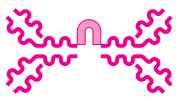
Anticuerpos

Los **anticuerpos,** también conocidos como **inmunoglobulinas,** o **Ig,** constituyen la parte *gammaglobulínica* de las proteínas de la sangre. Los anticuerpos son proteínas solubles secretadas por las células B activadas o por su prole de células plasmáticas como respuesta a un antígeno y son capaces de enlazar específicamente con ese antígeno.

Los anticuerpos se forman en respuesta a un gran número de antígenos diferentes. A pesar de su variedad, todos tienen una estructura básica similar que nos permite agruparlos en cinco clases de Ig, cada una con pequeñas diferencias de estructura y función.

Estructura básica de un anticuerpo Independientemente de su clase, cada anticuerpo tiene una estructura básica que consiste en cuatro cadenas de aminoácidos (polipéptido) unidas entre sí por medio de *enlaces disulfuro* (de sulfuro a sulfuro) (Figura 12.15). Dos de las cuatro cadenas son idénticas y contienen aproximadamente 400 aminoácidos cada una; éstas son las *cadenas pesa-*

TABLA 12.2 Clases de inmunoglobulina

Clase	Estructura generalizada	Ubicación	Función biológica
IgD		Casi siempre enlazado a la célula B.	Se cree que es un receptor de superficie de la célula B inmunocompetente; importante en la activación de la célula B.
IgM		Unido a la célula B; libre en plasma.	Cuando se une a la membrana de la célula B, sirve como receptor de antígeno; primer tipo de Ig *liberado* al plasma por las células plasmáticas durante la respuesta primaria; potente agente aglutinador; fija el complemento.
IgG		Anticuerpo más abundante en plasma; representa el 75%-85% de los anticuerpos circulantes.	Anticuerpo principal de las respuestas primaria y secundaria; atraviesa la placenta y facilita inmunidad pasiva al feto; fija el complemento.
IgA		Algunos (monómero) en plasma; dímero en secreciones tales como saliva, lágrimas, jugos gástricos y leche.	Baña las superficies mucosas y las protege de la adhesión de patógenos.
IgE		Secretados por las células plasmáticas, de la piel, la mucosa de los tractos gastrointestinal y respiratorio, y las amígdalas.	Se unen a mastocitos y basófilos y desencadenan la liberación de histamina y otras sustancias químicas que median en la inflamación y en ciertas respuestas alérgicas.

das. Las otras dos cadenas, las *cadenas ligeras*, también son idénticas pero sólo tienen la mitad de longitud que las pesadas. Cuando las cuatro cadenas se combinan, la molécula de anticuerpo formada tiene dos mitades idénticas, cada una de las cuales consiste en una cadena pesada y una ligera, y se suele decir que la molécula completa tiene forma de T o de Y.

Cuando los científicos comenzaron a estudiar la estructura de los anticuerpos, descubrieron algo muy peculiar: cada una de las cuatro cadenas que forman un anticuerpo tiene una **zona variable (V)** en un extremo y una **zona constante (C)** mucho más extensa en el otro. Los anticuerpos que responden a distintos antígenos tienen zonas variables distintas, pero sus zonas constantes son las mismas o casi las mismas. Esto cobró sentido cuando se descubrió que las zonas variables de las cadenas pesadas y ligeras de cada rama combinaban sus esfuerzos para formar una **zona de enlace a antígenos** (Figura 12.15) con un perfil único que "encajara" con un antígeno específico. Desde este momento, cada anticuerpo cuenta con ambas zonas de enlace a antígenos.

Las zonas constantes que forman el "tallo" del anticuerpo pueden compararse con el mango de una llave. El mango de una llave tiene la misma función en todas las llaves: permite sujetarla e introducir en la cerradura la parte que la hace girar. De forma similar, las zonas constantes de las cadenas del anticuerpo tienen funciones comunes a todos los anticuerpos: determinan el tipo de anticuerpo formado (clase de anticuerpo) y cómo el tipo de anticuerpo desarrollará su papel inmunitario en el organismo, así como los tipos de célula o sustancias químicas a las que el anticuerpo puede unirse.

Clases de anticuerpos Existen cinco clases principales de inmunoglobulina: IgM, IgA, IgD, IgG e IgE. Tal y como ilustra la Tabla 12.2, los anticuerpos IgD, IgG e IgE tienen la misma estructura básica con forma de Y, descrita con anterioridad y se denominan *monómeros*. Los anticuerpos IgA aparecen tanto en forma de monómero como en forma de *dímero* (dos monómeros enlazados). (En la tabla sólo se muestra la forma de dímero.)

El complemento y el aglutinamiento ayudan a la fagocitosis, pero de forma distinta. ¿Cuál es la diferencia?

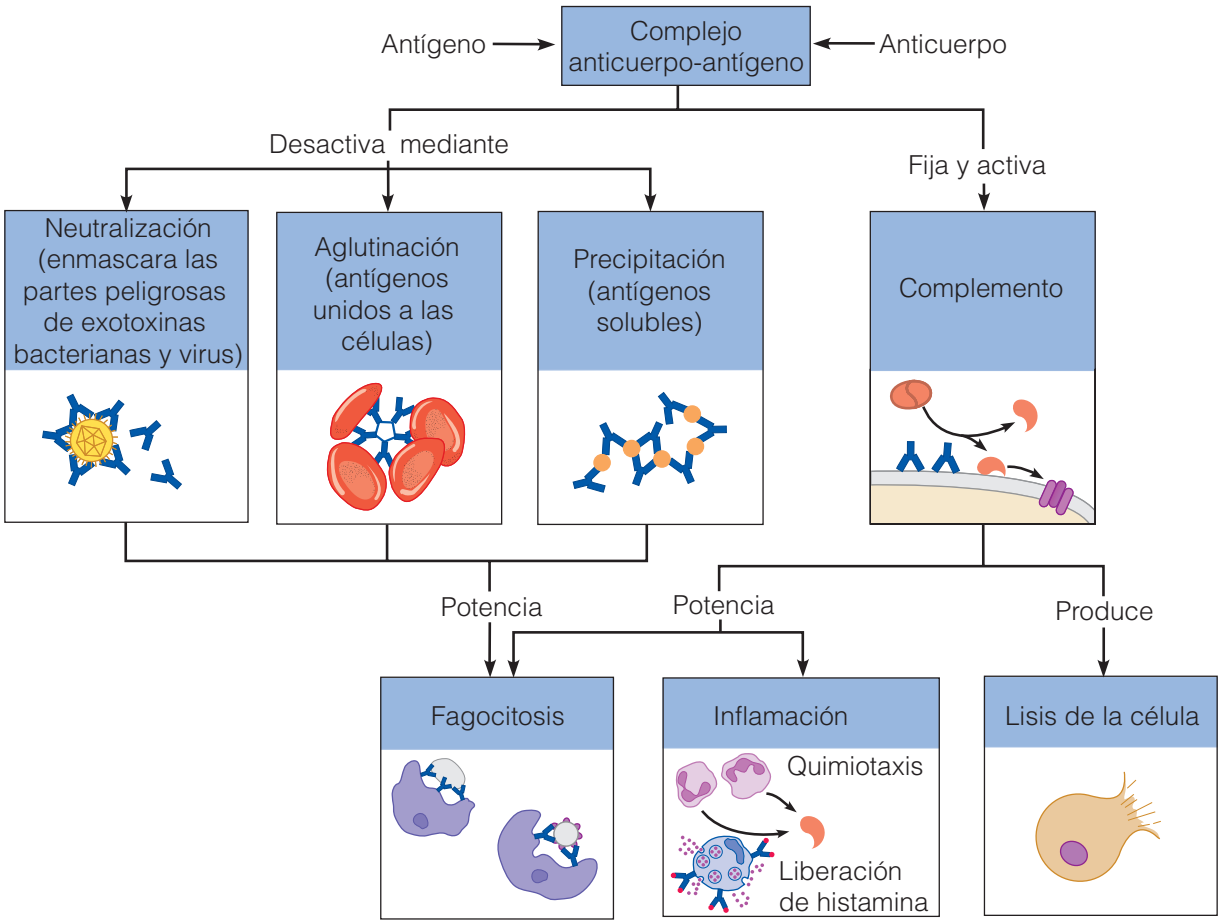


FIGURA 12.16 **Mecanismos de acción de los anticuerpos.**

En comparación con otros anticuerpos, los IgM son enormes. Debido a su formación a partir de cinco monómeros enlazados, los anticuerpos IgM son denominados pentámeros (*penta* = cinco).

Cada clase de anticuerpo tiene funciones biológicas y ubicaciones en el organismo ligeramente diferentes. Por ejemplo, el IgG es el anticuerpo más abundante en el plasma sanguíneo y el único tipo de anticuerpo que puede atravesar la barrera placentaria. Desde ese momento, la inmunidad pasiva que la madre pasa al feto va "con el visto bueno" de sus anticuerpos IgG. Sólo los anticuerpos IgM e IgG pueden fijar el complemento. El dímero IgA, a veces denominado *IgA secretora,* se encuentra principalmente en la mucosa y en otras secreciones que recubren las superficies del organismo. Tiene un papel destacado a la hora de prevenir que los patógenos penetren en el organismo. Los anticuerpos IgE son los anticuerpos "problemáticos" involucrados en las alergias. Estas y otras características únicas de cada una de las clases de inmunoglobulinas están resumidas en la Tabla 12.2.

Funciones de los anticuerpos Los anticuerpos desactivan antígenos de varias formas distintas: por fijación del complemento, por neutralización, por aglutinación y por precipitación (Figura 12.16). De todas ellas, la fijación del complemento y la neutralización son las más importantes para proteger el organismo.

La fijación del complemento proporciona al fagocito un "asidero" al que adherirse, mientras que la aglutinación agrupa los antígenos (normalmente microorganismos) en grandes masas inmóviles y más fáciles de destruir.

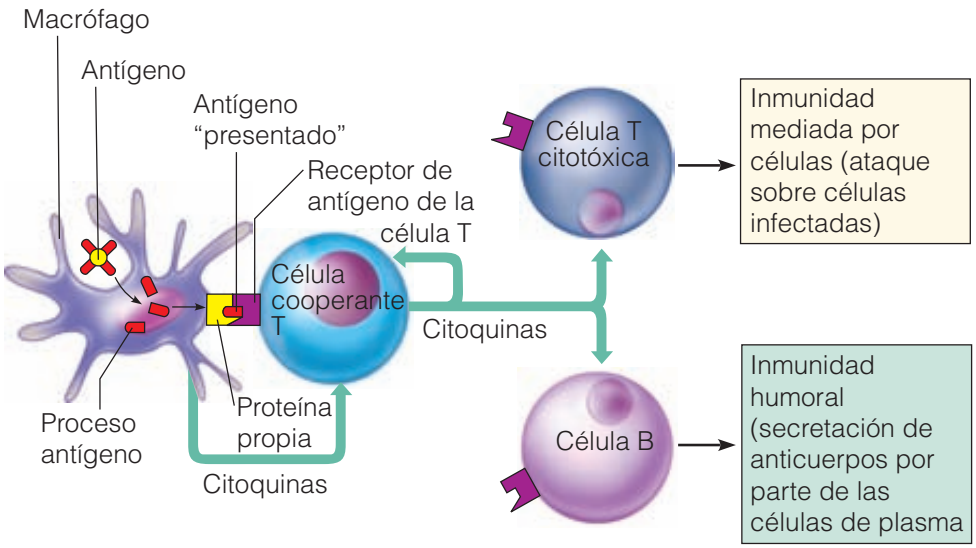


FIGURA 12.17 Activación de células T e interacciones con otras células de la respuesta inmunitaria. Los macrófagos son importantes como presentadores de antígenos. Tras la ingesta de un antígeno, exponen algunas partes del mismo en su superficie, donde pueden ser reconocidas por una célula T cooperante que contiene receptores para el mismo antígeno. Durante el proceso de unión, la célula T se une simultáneamente al antígeno y al macrófago receptor (propio), lo que provoca la activación y la clonación (no ilustradas) de la célula T. Además, el macrófago libera citoquinas, que potencian la activación de la célula T. Las células T cooperantes activadas liberan citoquinas, que estimulan la proliferación y la actividad de otras células T cooperantes y colaboran en la activación de las células B y de las células T citotóxicas (asesinas).

El complemento es la principal munición de anticuerpos utilizada contra los antígenos celulares, como las bacterias o las células sanguíneas incompatibles. Como ya hemos comentado con anterioridad, el complemento se fija (activa) durante las defensas innatas. También se activa de manera muy eficiente cuando se une a anticuerpos enlazados a dianas celulares. Esto desencadena los mecanismos (ya descritos) que tienen como resultado la lisis de la célula extraña y la liberación de moléculas que potencian en gran medida el proceso inflamatorio.

La **neutralización** ocurre cuando los anticuerpos se unen a zonas específicas de las *exotoxinas* bacterianas (sustancias químicas secretadas por las bacterias) o virus que pueden causar daño celular. De esta manera, bloquean los efectos nocivos de la exotoxina o del virus.

Debido a que los anticuerpos tienen más de una zona de enlace a antígenos, pueden unirse a más de uno a la vez; en consecuencia, los *complejos antígeno-anticuerpo* se entrecruzan en grandes redes. Cuando el enlace cruzado implica antígenos ligados a células, el proceso causa la aglomeración de células extrañas; este proceso se denomina **aglutinación.** Este tipo de reacción antígeno-anticuerpo se produce en la transfusión de sangre incompatible (las células de sangre extraña se aglutinan) y es la base de todas las pruebas utilizadas para la tipificación de la sangre. Cuando el enlace cruzado afecta a moléculas de antígeno solubles, el complejo antígeno-anticuerpo resultante es de tal tamaño que se vuelve insoluble y se separa de la solución. Esta reacción de enlace cruzado se denomina más específicamente **precipitación.** No hay duda de que las bacterias aglutinadas y las moléculas de antígeno inmovilizadas (precipitadas) son mucho más fáciles de capturar y tragar por los fagocitos del organismo que los antígenos que se mueven libremente.

¿LO HAS ENTENDIDO?

15. ¿Cuál es la importancia de la zona variable de los anticuerpos?
16. ¿Qué clase de anticuerpo se encuentra en la saliva y las lágrimas?

17. En relación con la acción de los anticuerpos, ¿qué es la neutralización?
18. La concentración de anticuerpos en el flujo linfático de Juan está creciendo rápidamente. ¿Qué células deberían estar incrementando su número, las células B, las células de plasma, o las células T?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Respuesta inmunitaria celular (mediada por células)

Al igual que las células B, las células T inmunocompetentes se activan para formar un clon al unirse a un antígeno "reconocido" (véase la Figura 12.19, pág. 428). Sin embargo, al contrario que las células B, las células T no pueden unirse a antígenos *libres*. En su lugar, los antígenos deben ser "presentados" por un macrófago (u otra célula presentadora de antígenos), y ha de tener lugar un *doble reconocimiento*. Un macrófago envuelve un antígeno y lo procesa internamente. Partes del antígeno procesado se exponen en el exterior de la superficie del macrófago en combinación con una de las propias proteínas del macrófago (Figura 12.17).

Aparentemente, una célula T debe reconocer los "no propios", el fragmento de antígeno presentado por el macrófago, y también los "propios" acoplándose a una glucoproteína específica sobre la superficie del macrófago al mismo tiempo. El antígeno enlazado solo no es suficiente para sensibilizar las células T. Los macrófagos han de "servirles en bandeja" los antígenos, y debe tener lugar algo similar a un "apretón de manos mutuo". Aunque esta idea parecía ridícula cuando se sugirió en un primer momento, ya no existen dudas acerca de que la **presentación del antígeno** es esencial para la activación y la clonación de las células T. Sin los macrófagos "presentadores" la respuesta inmunitaria se ve gravemente invalidada. Las sustancias químicas de la citoquina (en especial la interleucina 1) liberadas por los macrófagos juegan también un papel importante en la respuesta inmunitaria, tal y como se muestra en la Tabla 12.3.

Las diferentes clases de clones de las células T, que facilitan la inmunidad mediada por células, son un grupo diverso que produce sus efectos letales de muchas formas (véase la Tabla 12.3). Algunas son **células T citotóxicas (asesinas),** especializadas en matar células infectadas por virus, cáncer o injertos extraños (Figura 12.18). Una de las formas en las que la célula T citotóxica lo consigue es uniéndose estrechamente con una célula extraña y liberando sustancias químicas tóxicas denominadas *perforinas* y *granzimas* desde sus gránulos. Las perforinas penetran la membrana plasmática de la célula extraña, depositando el denominado *golpe letal*. Poco después, aparecen poros en la membrana de la célula diana que permiten que las granzimas (enzimas proteolíticas) entren y destruyan la célula extraña. A continuación, la célula T citotóxica se suelta y busca otra presa extraña a la que atacar.

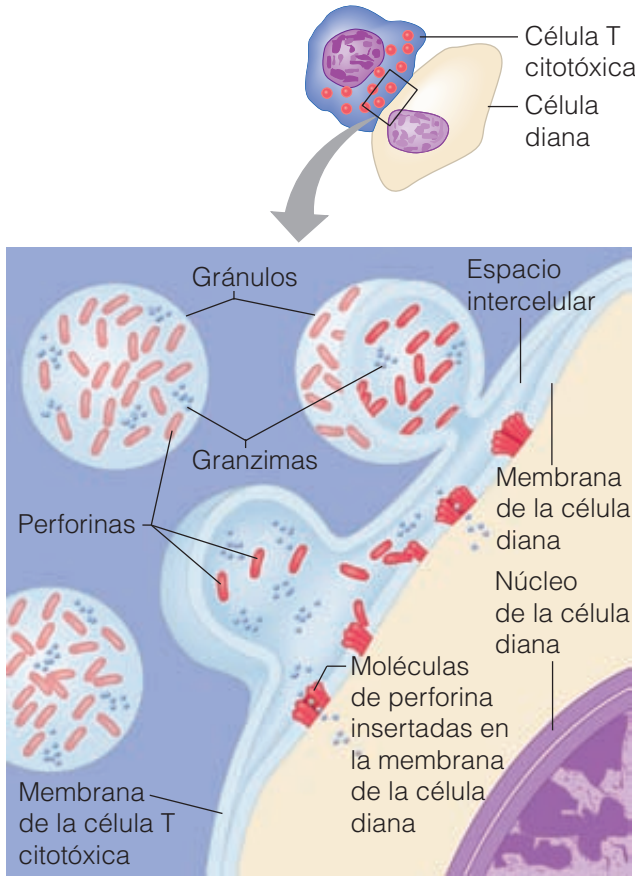


FIGURA 12.18 **Mecanismo propuesto por el que las células citotóxicas T destruyen las células diana.**

Las células T cooperantes son las células T que actúan como "directoras" del sistema inmunitario. Una vez activadas, circulan a través del organismo, reclutando otras células para luchar contra los invasores. Por ejemplo, las células T cooperantes interactúan directamente con las células B (que ya se han enlazado con antígenos), empujando a las células B a una división más rápida (producción de clones) y, entonces, como el "jefe" de una cadena de montaje, da la señal para que comience la formación de anticuerpos. Las células T cooperantes también liberan una variedad de sustancias químicas de la citoquina (véase la Tabla 12.3) que actúan indirectamente para liberar el organismo de antígenos (1) estimulando a células T citotó-

TABLA 12.3 Funciones de las células y las moléculas implicadas en la inmunidad

Elemento	Función en la respuesta inmunitaria
Células	
Célula B	Linfocito que reside en los ganglios linfáticos, en el bazo o en cualquier otro tejido linfoide, donde es inducido a replicarse por interacciones a enlace de antígeno y célula cooperante T; su progenie (miembros clones) forma células plasma y memoria.
Célula plasmática	"Máquina" productora de anticuerpos; produce enormes cantidades del mismo anticuerpo (inmunoglobulina); representa una mayor especialización de los descendientes clónicos de la célula B.
Célula T cooperante	Célula T que se une a un antígeno específico presentado por un macrófago; estimula la producción de otras células inmunes (células T citotóxicas y células B) para ayudar a luchar contra el invasor; actúa tanto directa como indirectamente, liberando citoquinas.
Célula T citotóxica	También denominada célula T asesina; su actividad está potenciada por las células T cooperativas; su especialidad es destruir células invadidas por virus, así como células que se han vuelto cancerosas; implicadas en el rechazo del injerto.
Célula T reguladora	Ralentiza o interrumpe la actividad de las células B y T una vez que la infección (o el ataque de células extrañas) ha sido combatida. Se cree que tiene gran importancia a la hora de prevenir enfermedades autoinmunes.
Célula de memoria	Descendiente de una célula B o T activada; generada durante la respuesta inmune inicial (respuesta primaria); puede seguir existiendo en el cuerpo durante años, permitiendo una rápida y eficiente respuesta a infecciones o encuentros subsiguientes con el mismo antígeno.
Célula presentadora de antígenos	Cualquiera de los distintos tipos de células (macrófagos, células dendríticas, células B) que envuelven y digieren antígenos que se encuentran y que presentan partes de los mismos sobre su membrana plasmática, para que sean reconocidos por las células T que llevan receptores para el mismo antígeno; esta función, la *presentación de antígeno,* es esencial para las respuestas mediadas por células. También libera sustancias químicas (citoquinas) que activan las células T.
Moléculas	
Anticuerpo (inmunoglobulina)	Proteína producida por una célula B o por la descendencia de su célula plasmática y liberada en los fluidos corporales (sangre, linfa, saliva, mucosa, etc.), donde se une a los antígenos, causando neutralización, precipitación o aglutinamiento, que "marcan" los antígenos para ser destruidos por los fagocitos o por el complemento.
Citocinas	Sustancias químicas liberadas por las células T sensibilizadas, los macrófagos y otras células: • Factor inhibidor de migración (MIF): "inhibe" la migración de los macrófagos y los mantiene en el área local. • Interleucina 2: estimula la proliferación de células T y B; activa las células NK. • Factores cooperadores: potencian la formación de anticuerpos mediante las células de plasma. • Factores supresores: suprimen la formación de anticuerpos o las respuestas inmunitarias mediadas por las células T (factor de transformación de crecimiento interleucina 10 y otros). • Factores quimiotácticos: atraen leucocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos) al área inflamada.

TABLA 12.3 *(continuación)*

Elemento	Función en la respuesta inmunitaria
	• Interferón gamma: secretado por los linfocitos; ayuda en la fabricación de células tisulares resistentes a la infección viral, activa los macrófagos y las células NK; potencia la maduración de las células T citotóxicas. • Perforina, granzimas: toxinas celulares liberadas por las células T citotóxicas.
Factor de necrosis tumoral (TNF)	Como la perforina, causa la muerte celular; atrae granulocitos; activa las células T y los macrófagos.
Complemento	Grupo de proteínas de transmisión hemática activado tras unirse a los antígenos recubiertos de anticuerpos; al activarse, el complemento causa la lisis del microorganismo y potencia la respuesta inflamatoria.
Antígeno	Sustancia capaz de provocar una respuesta inmunitaria; normalmente una molécula de complejo amplio que no suele estar presente en el organismo.

xicas y a las células B a crecer y dividirse, (2) atrayendo otros tipos de leucocitos protectores, tales como neutrófilos, a la zona, y (3) potenciando la habilidad de los macrófagos para tragarse y destruir microorganismos. (De hecho, los macrófagos son fagocitos bastante eficaces incluso en ausencia de citoquinas, si bien en presencia de éstas desarrollan un apetito insaciable.) Mientras las citoquinas liberadas convocan más y más células a la batalla, la respuesta inmunitaria gana impulso y los antígenos se ven inundados por el número total de elementos inmunes que actúan contra ellos.

Otra población de células T, las **células T reguladoras,** anteriormente denominadas *células T supresoras,* libera sustancias químicas que suprimen la actividad tanto de las células T como de las B. Las células T reguladoras son vitales para bajar el ritmo y finalmente interrumpir la respuesta inmunitaria, una vez que un antígeno ha sido desactivado o destruido con éxito. Ello ayuda a prevenir una actividad innecesaria y descontrolada del sistema inmunitario.

La mayoría de las células T alistadas para la lucha en una respuesta inmunitaria en particular mueren en pocos días.

Sin embargo, unos pocos miembros de cada clon son **células de memoria** longevas que se quedan para facilitar la memoria inmunitaria para cada antígeno que se encuentre y permitir que el organismo responda de manera rápida a futuras invasiones.

En la Figura 12.19 se muestra un resumen de los principales elementos de la respuesta inmune.

Trasplantes de órganos y rechazo

Para las personas que sufren la última etapa de una enfermedad del corazón o del riñón, los trasplantes de órganos son una opción de tratamiento deseable. Sin embargo, los trasplantes de órganos han tenido resultados muy diversos, ya que el sistema inmunitario siempre está alerta y el rechazo es un problema real.

Básicamente son cuatro los principales tipos de injerto:

1. **Autoinjertos:** son injertos de tejido trasplantados de un lugar a otro del cuerpo de una *misma persona.*
2. **Isoinjertos:** son injertos de tejidos donados por una *persona genéticamente idéntica;* el único ejemplo es el de un gemelo idéntico.
3. **Aloinjertos:** son injertos de tejido tomados de *cualquier persona que no sea un gemelo idéntico.*
4. **Xenoinjertos:** son injertos de tejido obtenidos de una *especie animal* diferente, como por ejemplo trasplantar el corazón de un mandril a un ser humano.

Los autoinjertos y los isoinjertos son órganos o injertos donantes ideales y casi siempre tienen éxito, siempre y cuando exista un suministro sanguíneo adecuado y no haya infección. Aunque las válvulas de corazón de cerdo han sido transplantadas con éxito, los xenoinjertos de órganos enteros casi nunca tienen éxito. El tipo de injerto más utilizado es un aloinjerto tomado de una persona fallecida recientemente.

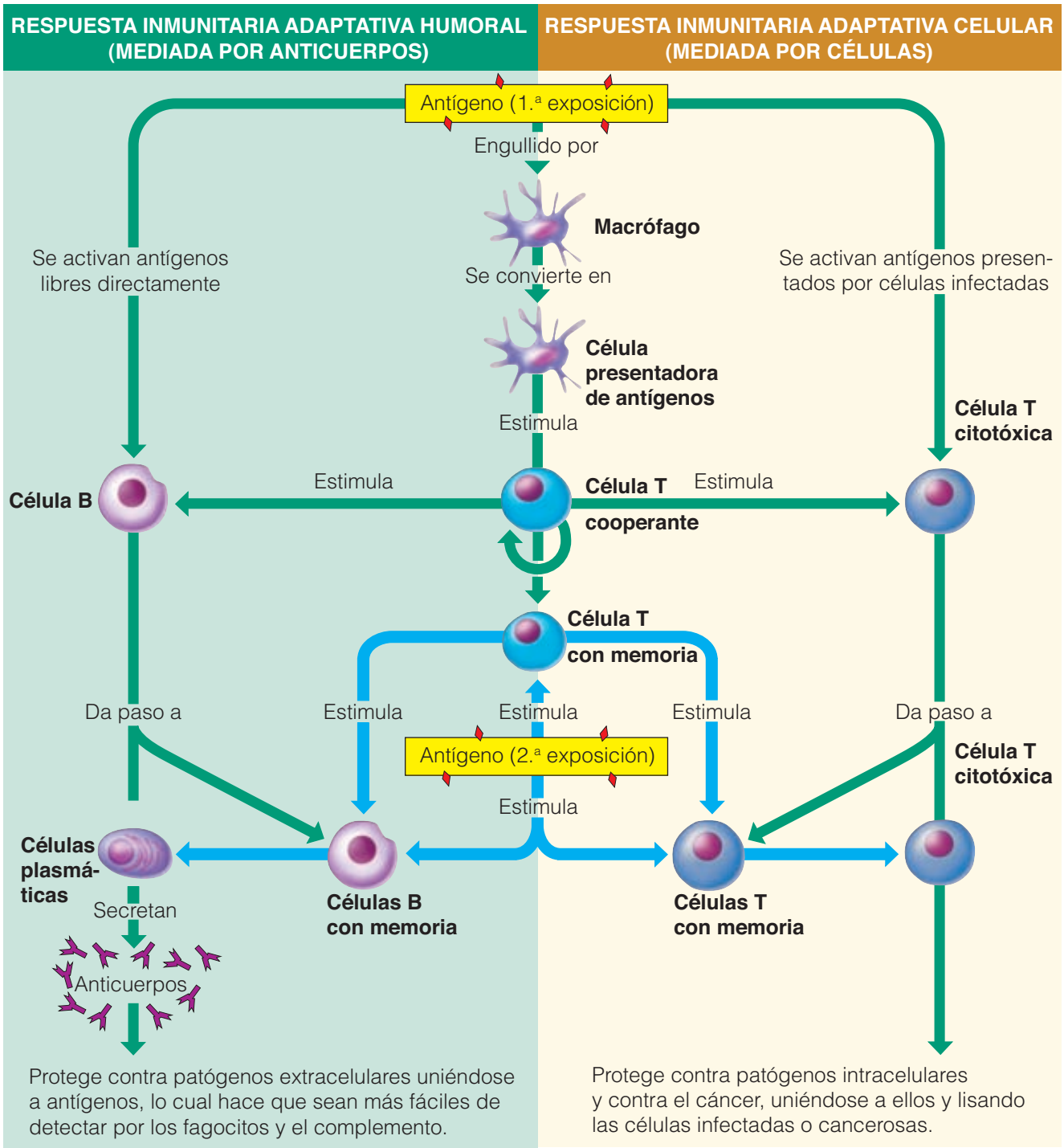


FIGURA 12.19 **Resumen de las respuestas inmunitarias adaptativas.**
En este sencillo diagrama, las flechas verdes siguen la respuesta primaria y las azules la secundaria.

Antes siquiera de intentar un aloinjerto, el ABO y otros grupos antígenos del grupo sanguíneo tanto del donante como del receptor han de ser determinados y coincidir. Entonces, los antígenos de la membrana celular de sus células de tejido se tipifican para determinar el nivel de coincidencia. Es necesario un 75% de coincidencia como mínimo para intentar el injerto; como es de suponer, resulta difícil encontrar una buena coincidencia de tejidos entre personas sin lazos de sangre.

Tras la operación, para prevenir el rechazo, el paciente recibe **terapia inmunosupresora,** incluyendo una o más de las siguientes terapias: corticosteroides para suprimir la inflamación, medicación antiproliferativa, terapia de radiación (rayos X) y medicación inmunosupresora.

Muchos de estos medicamentos destruyen muy rápidamente las células que se dividen (tales como los linfocitos activados), y todos ellos tienen efectos secundarios graves. Sin embargo, el problema principal de la terapia inmunosupresora es que mientras se suprime el sistema inmunitario no se puede proteger el organismo contra agentes extraños. La causa principal más frecuente de muerte de estos pacientes es una infección bacterial y viral de gran magnitud.

¿LO HAS ENTENDIDO?

19. Las células T deben tomar parte en lo que a veces se ha dado en llamar el doble apretón de manos para ser activadas. ¿Qué significa esta expresión?
20. ¿Como se consigue el golpe letal?
21. ¿Cuál es el papel del las células T reguladoras en la respuesta inmunitaria adaptativa?
22. Sara va a recibir un trasplante de riñón. El donante es su hermano gemelo. ¿Qué nombre recibe este tipo de trasplante?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Desórdenes de la inmunidad

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El desorden más importante del sistema inmunitario son las enfermedades autoinmunes, las alergias y las inmunodeficiencias.

Enfermedades autoinmunes

Ocasionalmente el sistema inmunitario pierde su habilidad para distinguir a un amigo de un enemigo, es decir, tolerar autoantígenos, al tiempo que reconoce y ataca antígenos extraños. Cuando esto ocurre, el organismo genera anticuerpos *(autoanticuerpos)* y células T sensibilizadas que atacan y dañan sus propios tejidos. Este desconcertante fenómeno se denomina **enfermedad autoinmune,** puesto que es el propio sistema inmunitario del individuo el que genera el desorden.

Alrededor del 5% de los adultos norteamericanos (dos tercios de ellos mujeres) están afectados por alguna enfermedad autoinmune. Las más comunes son las siguientes:

- **Esclerosis múltiple (MS),** que destruye la sustancia blanca (capas de mielina) del cerebro y la médula espinal (véase la pág. 234).
- **Miastenia grave,** que impide la comunicación entre los nervios y los músculos del esqueleto (véase la pág. 221).
- **Enfermedad de Graves,** por la que la glándula tiroidea produce cantidades excesivas de tiroxina.
- **Diabetes *mellitus* tipo 1,** que destruye las células beta pancreáticas, con resultado de producción insuficiente de insulina (véanse las págs. 326-327).
- **Lupus eritematoso sistémico (SLE),** enfermedad sistémica que suelen padecer las mujeres jóvenes y que afecta principalmente a riñones, corazón, pulmones y piel.
- **Glomerulonefritis,** deficiencia grave de la función renal.
- **Artritis reumatoide (RA),** que destruye de manera sistemática las articulaciones (véanse las págs. 173-174).

Las terapias actuales incluyen tratamientos que debilitan ciertos aspectos de la respuesta inmunitaria.

¿Cómo se colapsa el estado normal de tolerancia propia? Parece que uno o más de los siguientes motivos podrían ser los desencadenantes:

1. **Programación de linfocitos ineficiente.** En vez de ser silenciados o eliminados, los linfocitos B o T autorreactivos se escapan hacia el resto del organismo. Se cree que esto ocurre en la MS.
2. **Aparición en la circulación de autoproteínas que no han sido previamente expuestas al sistema inmunitario.** Tales antígenos "escondidos" se encuentran en células de esperma, en el cristalino del ojo y en ciertas proteínas de la glándula tiroidea. Además, pueden aparecer "nuevos antígenos propios" como resultado de una mutación genética que modifique la estructura de las proteínas propias o como resultado de alteraciones en las mismas por enlace de hapteno o por cualquier daño bacteriano o vírico.
3. **Reacción cruzada de anticuerpos generados contra antígenos extraños y propios.** Por ejemplo, se sabe que los anticuerpos generados durante una infección causada por bacterias estreptococo reaccionan con los antígenos del corazón causando daños al músculo y a sus válvulas, así como a las articulaciones y a los

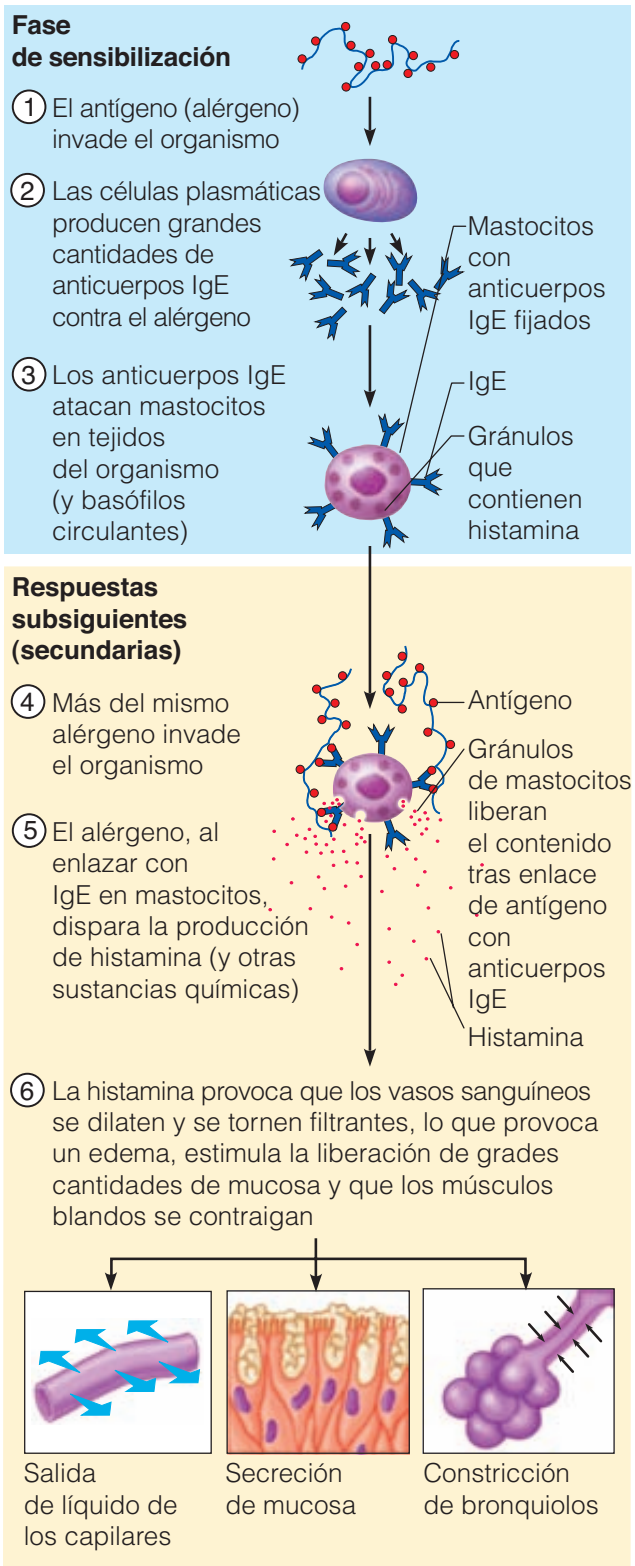


FIGURA 12.20 **Mecanismo de respuesta hipersensible inmediata (aguda).**

riñones. Esta antigua enfermedad se denomina **fiebre reumática.** ▲

Alergias

Al principio se pensaba que la respuesta inmunitaria era meramente protectora. Sin embargo, no se tardó en descubrir su peligroso potencial. Las **alergias,** o **hipersensibilidades,** son respuestas anormalmente virulentas en las que el sistema inmunitario causa daños en el tejido al luchar contra una amenaza "percibida", que de otro modo sería inocua para el organismo. El término *alérgeno* se utiliza para distinguir este tipo de antígeno de los que producen respuestas normales. Es raro que alguien muera por una alergia; sólo se trata de una enfermedad incómoda.

Aunque existen diferentes tipos de alergias, el más común es la **hipersensibilidad inmediata** (Figura 12.20). Este tipo de respuesta, también conocida como **hipersensibilidad aguda,** se dispara por la respuesta inmunitaria, en una inundación de histamina cuando los anticuerpos IgE enlazan con los *mastocitos*. La histamina hace que los vasos sanguíneos de la zona se dilaten y se vuelvan filtrantes y son los responsables en gran medida de los síntomas más característicos de la alergia: goteo continuo de la nariz, ojos llorosos e irritados, piel enrojecida (urticaria). Cuando se inhala el alérgeno, aparecen los signos de asma, ya que el músculo liso de las paredes de los bronquios se contrae, estrangulando los pasajes y restringiendo el flujo de aire. Los medicamentos antialérgicos sin receta (OTC) contienen *antihistamínicos* que contrarrestan estos efectos. La mayoría de estos efectos comienzan pocos segundos tras el contacto con el alérgeno y duran alrededor de una media hora.

Afortunadamente, la respuesta alérgica aguda de todo el organismo, o sistemática, conocida como ***shock* anafiláctico,** es bastante infrecuente. El *shock* anafiláctico se produce cuando el alérgeno penetra directamente en la sangre y circula rápidamente por el organismo, como podría ocurrir con ciertas picaduras de abejas, mordeduras de serpientes o picaduras de arañas. También puede darse a consecuencia de una vacuna de una sustancia extraña (como suero equino, penicilina u otros medicamentos que actúen como haptenos) en individuos sensibles. El mecanismo del *shock* anafiláctico es esencialmente el mismo que el de las respuestas locales, pero cuando el organismo al completo se ve involucrado, el resultado es una amenaza de muerte. Por ejemplo, es difícil respirar cuando el músculo liso de las cavidades de los pulmones se contrae, y la repentina vasodilatación (y pérdida de fluidos) que se produce puede causar un colapso circulatorio y la muerte en cuestión de minutos. La

epinefrina es el medicamento elegido para invertir los efectos provocados por la histamina.

Las **hipersensibilidades retardadas,** mediadas principalmente por un subgrupo especial de células T cooperantes, células T citotóxicas y macrófagos, tardan más en aparecer (de uno a tres días) que cualquiera de las reacciones agudas producidas por los anticuerpos. En vez de histamina, las sustancias químicas mediadoras son las citoquinas liberadas por las células T activadas. Es por eso que los antihistamínicos *no* son de ayuda ante los tipos de alergias retardadas. Los corticosteroides se utilizan para facilitar alivio.

Los ejemplos más comunes de reacciones de hipersensibilidad retardada son aquellas clasificadas como **dermatitis alérgica de contacto,** que siguen a un contacto de la piel con hiedra venenosa, algunos metales pesados (plomo, mercurio y otros), y ciertos agentes químicos cosméticos y desodorantes. Estos agentes actúan como haptenos; tras la difusión y ataque a través de las proteínas del organismo, son percibidos como elementos extraños por el sistema inmunitario. Los *test* de *Mantoux* y de la *tiña*, pruebas de piel para la detección de la tuberculosis, dependen de las reacciones de hipersensibilidad retardada. Cuando los antígenos tubérculo se inyectan justo bajo la piel (o se arañan sobre ella), se forma una lesión pequeña y dura si la persona ha sido sensibilizada contra el antígeno.

Immunodeficiencias

Las **inmunodeficiencias** incluyen tanto las congénitas como las adquiridas, en las que la producción o función de las células inmunes o complementos es anormal. La condición congénita más devastadora es la **enfermedad inmunodeficiente combinada severa (SCID),** en la que existe un marcado déficit de células B y T. Debido a que las células T son absolutamente necesarias para un funcionamiento normal en *ambas* ramas del sistema adaptativo, los niños afectados no tienen prácticamente ninguna protección contra los patógenos de cualquier tipo. Cualquier infección menor que es superada fácilmente por cualquier niño resulta letal para aquellos que padecen SCID. Los trasplantes de médula espinal y cordón umbilical, que facilitan células tronco normales de linfocito, han sido de ayuda a víctimas del SCID. Sin tales tratamientos, la única esperanza de sobrevivir es detrás de barreras protectoras (en una "burbuja" de plástico) que mantenga alejados los agentes infecciosos.

En la actualidad, la más importante y devastadora de las inmunodeficiencias adquiridas es el **síndrome de inmunodeficiencia adquirida (el sida)**. El sida, que mutila el sistema inmunitario interfiriendo con la actividad de las células T cooperantes, se trata con más detalle en el apartado "Más de cerca", en las págs. 432-433.

¿LO HAS ENTENDIDO?

23. ¿Qué es una alergia?
24. ¿Qué causa la dificultad al respirar que se observa en un *shock* anafiláctico?
25. ¿Cuál es el principal problema común a todas las enfermedades de inmunodeficiencias?
26. ¿Cuáles son las dos posibles causas de la enfermedad de inmunodeficiencia?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA LINFÁTICO Y LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO

Los vasos linfáticos, que emergen de las venas del sistema vascular sanguíneo, y las principales ramificaciones de los ganglios linfáticos son obvios a partir de la quinta semana de desarrollo. Excepto por la glándula timo y el bazo, los órganos linfoides tienen un pobre desarrollo antes del nacimiento. Sin embargo, poco después son poblados con grandes cantidades de linfocitos al tiempo que el sistema inmunitario comienza a funcionar.

Los problemas del sistema linfático son relativamente poco comunes, pero cuando surgen son dolorosamente evidentes. Por ejemplo, cuando los vasos linfáticos se obstruyen (como en la *elefantiasis*, enfermedad tropical en la que los vasos linfáticos son obstruidos por gusanos parasitarios) o cuando se extraen los linfáticos (como en una cirugía radical de pecho), puede producirse un edema grave. Sin embargo, los vasos linfáticos extraídos quirúrgicamente vuelven a crecer con el tiempo.

Las células germinales del sistema inmunitario se originan en el bazo y en el hígado durante el primer mes del desarrollo embrional. Más tarde, la médula espinal se convierte en la fuente predominante de células germinales (hemocitoblastos), y continúa con este rol hasta la vida adulta. En la última etapa de la vida fetal, y hasta poco después del nacimiento, los linfocitos jóvenes desarrollan autotolerancia e inmunocompetencia en sus "órganos programadores" (timo y medula espinal) y luego pueblan el resto de los tejidos linfoides. Una vez conocidos "sus" antígenos, las células T y B completan su desarrollo a células inmunes completamente maduras.

MÁS DE CERCA

SIDA: LA PLAGA DE ESTA ÉPOCA

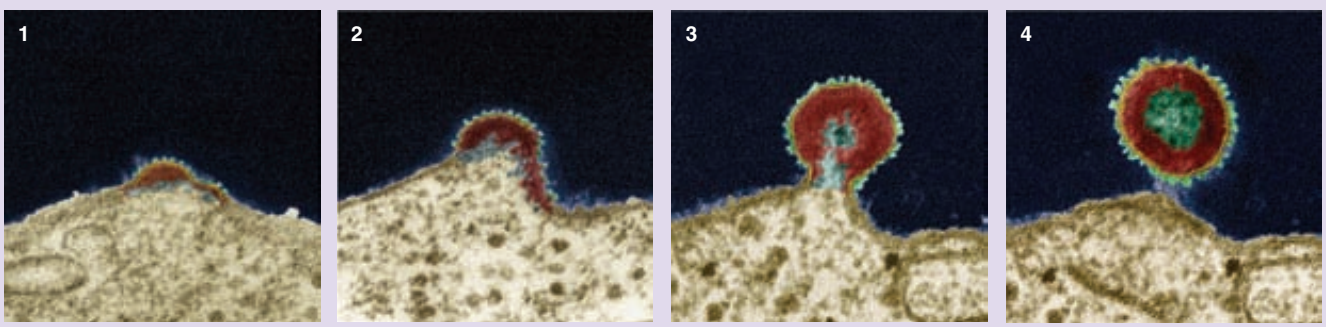
En octubre de 1347 varios barcos llegaron al puerto de Sicilia y, en pocos días, todos los marineros que trasportaban murieron de peste bubónica. A finales del siglo XIV, aproximadamente el 25% de la población europea fue eliminada por la "muerte negra." En enero de 1987, el secretario de Salud y Servicios Sociales de Estados Unidos avisó de que el síndrome de inmunodeficiencia adquirido, o sida, podría ser la plaga de nuestros tiempos. Fueron palabras duras. ¿Son verdaderas?

Aunque el sida fue identificado por primera vez en ese país en 1981 entre hombres homosexuales y adictos a drogas intravenosas de ambos sexos, había comenzado a afectar a la población heterosexual de África varios años antes. El sida se caracteriza por una pérdida grave de peso, sudores nocturnos, ganglios linfáticos inflamados e incremento de la frecuencia de infecciones, incluido un extraño tipo de neumonía denominada *neumonía pneumocystis,* una infección ocular denominada retinitis por citomegalovirus, y el extraño *sarcoma* maligno *de Kaposi,* una enfermedad cancerígena de los vasos sanguíneos evidenciada por lesiones purpúreas en la piel. Algunos enfermos de sida desarrollan un habla trabada y demencia grave. El curso del sida sin tratamiento es inexorable y hasta el momento inevitable, terminando finalmente en una debilitación y muerte por cáncer o infección aplastante.

El sida lo causan virus transmitidos por sangre, semen y. posiblemente, secreciones vaginales. Generalmente, el virus entra en el organismo a través de transfusiones sanguíneas o agujas con sangre contaminada y durante el contacto sexual íntimo, en el que la mucosa se rasga o en el que lesiones abiertas causadas por enfermedades de transmisión sexual permiten que el virus entre en la sangre. *No* se transmite por contacto normal, porque el virus se seca y muere en contacto con el aire.

> *"Todo el sistema inmunitario se revuelve."*

El virus denominado HIV (virus de la inmunodeficiencia humana) se dirige y destruye específicamente las células T cooperantes, resultando en una depresión grave de la inmunidad celular. Sin las células T cooperantes, las células T citotóxicas y las B no pueden ser activadas o mantenidas, y todo el sistema inmunitario se revuelve. En la actualidad está claro que el virus se multiplica de forma uniforme en los ganglios linfáticos durante la mayor parte de periodo asintomático crónico. El sida sintomático aparece cuando los ganglios linfáticos no pueden contener más el virus y el sistema inmunitario se colapsa. El virus también invade el cerebro, lo que explica la demencia en algunos pacientes con sida. Aunque existen algunas excepciones, la mayoría de las victimas del



Un nuevo virus HIV emerge de una célula humana infectada.

sida fallecen en un periodo que varía entre unos meses y ocho años tras el diagnóstico.

Desde 1981, los años han sido testigos de una epidemia global del sida. Mundialmente, el número de personas infectadas por el virus HIV pasaron de 10 millones en 1994, a más de 40 en 2005. Casi el 90% de ellos vive en países en vías de desarrollo de Asia y el sur de África. Durante 2005, 5 millones de personas fueron infectadas por primera vez. En otras palabras, aproximadamente 1 de cada 200 personas en el planeta es portador del virus. Más aún, debido a que existe una "ventana" de 6 meses durante la cual los anticuerpos pueden desarrollarse tras la exposición al HIV, hay probablemente 100 portadores asintomáticos por cada nuevo caso diagnosticado. Incluso, es más, la enfermedad tiene un periodo largo de incubación (de entre unos meses y 10 años) entre la exposición y la aparición de los síntomas clínicos. Los *Centers for Disease Control and Prevention* (CDC) estiman que casi 950.000 residentes en Estados Unidos están infectados por el HIV y que el 25% de ellos lo desconoce.

No sólo ha alimentado de manera alarmante el número de casos identificados en las poblaciones de riesgo, sino que además "la cara del sida está cambiando". Las victimas empiezan a incluir a personas que no pertenecen al grupo de alto riesgo original. Antes de que los tests fiables de la sangre de donantes estuvieran disponibles, algunas personas contraían el virus a través de transfusiones de sangre. Los hemofílicos han sido especialmente vulnerables, ya que los factores sanguíneos necesarios son aislados de las donaciones de sangre mezcladas. Aunque los fabricantes comenzaron a tomar medidas para destruir el virus en 1984, para entonces se estimó que el 60% de los hemofílicos residentes en Estados Unidos ya estaba infectado. El virus también puede transmitirse de una madre infectada al feto. Aunque los hombres homosexuales siguen contando con la mayor parte de los casos de transmisión por contacto sexual, cada vez son más los heterosexuales que contraen esta enfermedad. Es particularmente preocupante el incremento casi epidémico de casos de diagnosis entre adolescentes y jóvenes adultos. El sida es en la actualidad la quinta causa de muerte entre los norteamericanos de edades comprendidas entre los 25 y los 44 años.

Los hospitales de grandes ciudades reciben diariamente cada vez más pacientes de sida, y las estadísticas que informan sobre el número de casos en los guetos de los centros urbanos, donde el uso de drogas por vía intravenosa es la forma principal de transmisión del sida, son alarmantes. En la actualidad, la comunidad consumidora de drogas cuenta con el 25% de todos los casos de sida. Es más, el 75% de los casos de sida entre los recién nacidos se produce cuando abunda el consumo de drogas.

Los test de diagnóstico para identificar a los portadores del virus del sida son cada vez más sofisticados. Por ejemplo, un test de orina facilita una alternativa indolora al test habitual del HIV. Sin embargo, aún no se ha encontrado una cura. En la actualidad existen más de 100 medicamentos en la *U.S. Food and Drug Administration* y más de 20 vacunas están en el proceso de pruebas clínicas.

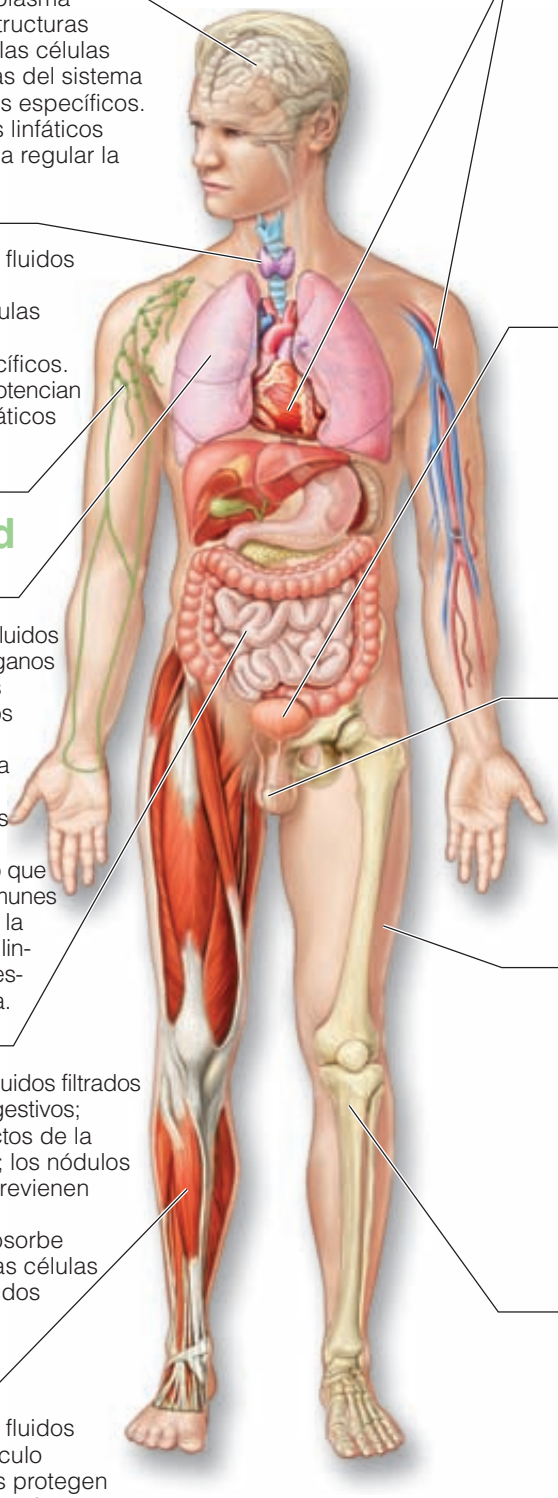
En la actualidad están disponibles varios medicamentos antivirales que actúan inhibiendo las enzimas que necesita el HIV para multiplicarse en el organismo. A los *inhibidores* de la *transcriptasa inversa*, tales como AZT, les han seguido otros que incluyen ddl, ddc, d4T y 3TC. A finales de 1995 y principios de 1996 se aprobaron los *inhibidores de la proteasa* (saquinavir, ritonavir y otros). Hasta ahora, parece que la combinación de la terapia utilizando medicamentos diferentes de distinta clase pega un derechazo al virus VIH, al menos durante algún tiempo. La terapia combinada pospone la resistencia al medicamento (problema que existía en la terapia del uso único del medicamento AZT) y reduce sustancialmente la cantidad de virus VIH en sangre al tiempo que incrementa el número de células T cooperante.

Desafortunadamente, los tratamientos empiezan a fallar aproximadamente en la mitad de los pacientes tratados, incluso breves descansos en el tratamiento son suficientes para que los niveles virales se eleven. Existen nuevas esperanzas a partir de los nuevos medicamentos del grupo de integrasa que bloquean la entrada del VIH al ADN de las células cooperantes diana, así como de nuevas generaciones de vacunas contra el sida.

Dada la pobre prognosis del sida, la forma de actuar es la prevención. Quizá, tal y como insisten los medios de comunicación, la mejor defensa es "practicar sexo seguro" utilizando preservativos y conociendo la historia sexual del compañero/compañera, pero la verdad es que la única alternativa segura al cien por cien es la abstinencia.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA LINFÁTICO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema linfático/inmunidad

Sistema nervioso

- Los vasos linfáticos recogen el plasma filtrado y las proteínas en las estructuras del sistema nervioso periférico; las células inmunes protegen las estructuras del sistema nervioso periférico de patógenos específicos.
- El sistema nervioso inerva vasos linfáticos más grandes; el cerebro ayuda a regular la respuesta inmune.

Sistema endocrino

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas; la linfa distribuye las hormonas; las células inmunes protegen los órganos endocrinos de patógenos específicos.
- El timo produce hormonas que potencian el desarrollo de los órganos linfáticos y "programan" los linfocitos T.

Sistema respiratorio

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas de los órganos respiratorios; las células inmunes protegen los órganos respiratorios de patógenos específicos; las células plasmáticas de la mucosa respiratoria secretan IgA para prevenir la invasión de patógenos de los tejidos más profundos.
- Los pulmones facilitan el oxígeno que necesitan las células linfoides/inmunes y eliminan el dióxido de carbono; la faringe alberga algunos órganos linfoides (amígdalas); la "bomba" respiratoria ayuda a que la linfa fluya.

Sistema digestivo

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas de los órganos digestivos; la linfa transporta algunos productos de la digestión de grasas a la sangre; los nódulos linfoides de la pared intestinal previenen la invasión de patógenos.
- El sistema digestivo digiere y absorbe los nutrientes necesarios para las células de los órganos linfáticos; los ácidos gástricos inhiben la entrada de patógenos en la sangre.

Sistema muscular

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas del músculo esquelético; las células inmunes protegen los músculos de patógenos específicos.
- La "bomba" del músculo esquelético ayuda al flujo de la linfa; los músculos protegen los ganglios linfáticos superficiales.

Sistema cardiovascular

- Los vasos linfáticos recogen el plasma filtrado y las proteínas; el bazo destruye el agente RBC, almacena el hierro y elimina los desechos de la sangre; las células inmunes protegen los órganos cardiovasculares de patógenos específicos.
- La sangre es la fuente de la linfa; los vasos linfáticos se desarrollan a partir de las venas; la sangre facilita la ruta para la circulación de elementos inmunes.

Sistema urinario

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas de los órganos urinarios; las células inmunes protegen los órganos urinarios de patógenos específicos.
- El sistema urinario elimina los desechos y mantiene el balance homeostático hídrico, ácido-base y electrolítico de la sangre para el funcionamiento de las células inmunes; la orina expulsa algunos patógenos del cuerpo.

Sistema reproductor

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas de los órganos reproductores; las células inmunes protegen los órganos de patógenos específicos.
- La acidez de las secreciones vaginales previene la multiplicación bacteriana.

Sistema tegumentario

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas de la dermis; los linfocitos y la linfa potencian el rol protector de la piel defendiéndola contra patógenos específicos.
- El epitelio queratinizado de la piel facilita una barrera mecánica contra los patógenos; el pH ácido de las secreciones de la piel inhibe el crecimiento de bacterias en la piel.

Sistema esquelético

- Los vasos linfáticos recogen los fluidos filtrados y las proteínas del periostio; las células inmunes protegen los huesos de patógenos específicos.
- Los huesos albergan tejido hematopoyético (médula) que produce los linfocitos (y macrófagos) que pueblan los órganos linfoides y crean la inmunidad del organismo.

Aunque la capacidad del sistema inmunitario adaptativo para reconocer sustancias extrañas viene determinada por los genes, el sistema nervioso puede ayudar a controlar la actividad de la respuesta inmunitaria. La respuesta inmunitaria queda definitivamente disminuida en individuos que se encuentran bajo estrés extremo, por ejemplo, en personas que se encuentran en duelo por la muerte de un familiar o amigo. El sistema inmunitario normalmente es útil durante toda nuestra vida, hasta la vejez. Pero durante los últimos años, su eficacia comienza a decaer. Como resultado, el cuerpo pierde capacidad de lucha contra las infecciones y de destruir células que se han vuelto cancerígenas. Además, nos volvemos más susceptibles tanto a las enfermedades autoinmunes como a las de inmunodeficiencia.

RESUMEN

A continuación se muestran herramientas de estudios de los medios de comunicación que facilitan una revisión adicional de los temas clave del Capítulo 12.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

PARTE I: EL SISTEMA LINFÁTICO
(págs. 403-408)

1. El sistema linfático se compone de los vasos linfáticos, ganglios linfáticos y otros órganos linfoides del organismo.

   WEB Actividad: Chapter 12, Lymphatic Collecting Vessels and Regional Lymph Nodes.

2. Capilares linfáticos de extremos ciegos y altamente porosos recogen el fluido filtrado de los capilares sanguíneos. El fluido (linfa) fluye hacia los vasos linfáticos más grandes y finalmente hacia el sistema vascular sanguíneo a través del conducto linfático derecho y el conducto torácico izquierdo.
3. El trasporte de la linfa lo facilitan las bombas muscular y respiratoria, y la contracción de músculo blando en las paredes de los vasos linfáticos.
4. Los ganglios linfáticos se agrupan a lo largo de los vasos linfáticos y el flujo linfático fluye por ellos. Los ganglios linfáticos sirven como zonas de multiplicación granulares de glóbulos blancos (linfocitos); las células fagocíticas que se encuentran en su interior eliminan las bacterias y los virus, entre otros, del flujo linfático antes de devolverlos a la sangre.
5. Otros órganos linfáticos incluyen las amígdalas (en la garganta), que eliminan las bacterias que intentan penetrar en los tractos digestivo y respiratorio; el timo, una zona de programación para algunos linfocitos del organismo; las placas de Peyer, que evitan que las bacterias del intestino penetren más en el organismo y el bazo, un cementerio de glóbulos rojos y una reserva de sangre.

PARTE II: DEFENSAS DEL ORGANISMO
(págs. 408-431)

Defensas innatas del organismo
(págs. 409-415)

1. Las membranas de superficie (membranas de la piel y mucosas) facilitan barreras mecánicas a los patógenos. Algunas producen secreciones y/o tienen modificaciones en su estructura que potencian sus efectos defensivos; la acidez de la piel, las lisocimas, la mucosa, la queratina y las células ciliadas son algunos ejemplos.
2. Los fagocitos (macrófagos y neutrófilos) se tragan y destruyen los patógenos que penetran en las barreras epiteliales. Este proceso es potenciado cuando la superficie del patógeno es alterada por el enlace de superficie de anticuerpos y/o complementos.
3. Los linfocitos citolíticos naturales son células no inmunes que actúan de forma no específica para lisar células malignas e infectadas por virus.
4. La respuesta inflamatoria previene la expansión de agentes dañinos, se deshace de patógenos y células de tejido muerto y ayuda a la recuperación. Los leucocitos protectores entran en la zona afectada; la fibrina rodea dicha zona y se produce la reparación del tejido.
5. Cuando el complemento (un grupo de proteínas plasmáticas) se fija en la membrana de una célula extraña, se produce la lisis de la célula objetivo. El complemento también potencia la fagocitosis y las respuestas inmunitaria e inflamatoria.
6. El interferón es un grupo de proteínas sintetizadas por células infectadas de virus y ciertas células inmunes. Evita que los virus se multipliquen en otras células del organismo.
7. La fiebre potencia la lucha contra los microorganismos infecciosos incrementando el metabolismo (que acelera el proceso de reparación) y haciendo que el hígado y el bazo almacenen hierro y cinc (que las bacterias necesitan para multiplicarse).

Defensas adaptativas del organismo (págs. 415-431)

1. El sistema inmunitario reconoce algo como extraño y actúa para eliminarlo. La respuesta inmunitaria es antígeno-específica, sistémica y tiene memoria. Las dos ramas de la respuesta inmunitaria son la inmunidad humoral (mediada por anticuerpos) y la inmunidad celular (mediada por células vivas, los linfocitos).
2. Antígenos:
   a. Los antígenos son moléculas (o parte de ellas) grandes y complejas que el organismo reconoce como cuerpos extraños. Las proteínas extrañas son fuertes antígenos.
   b. Los antígenos completos provocan una respuesta inmunitaria y enlazan con productos de esa respuesta (anticuerpos o linfocitos sensibilizados).
   c. Los antígenos incompletos, o haptenos, son pequeñas moléculas que no son capaces de causar una respuesta inmunitaria por sí mismas, pero lo hacen cuando enlazan con las proteínas del organismo y reconocen los complejos como extraños.
3. Células del sistema de defensa adaptativo: un estudio general:
   a. Las dos poblaciones celulares principales, linfocitos y macrófagos, están involucradas en la defensa adaptativa.
   b. Los linfocitos surgen de los hemocitoblastos de la médula. Las células T desarrollan inmunocompetencia en el timo y pasan por alto la inmunidad mediada por células. Las células B desarrollan la inmunocompetencia en la médula y facilitan inmunidad humoral. Los linfocitos inmunocompetentes germinan órganos linfoides, en los que tiene lugar el reto antígeno, y circulan a través de la sangre, la linfa y los órganos linfoides.
   c. La inmunocompetencia está señalizada por la apariencia de receptores específicos de antígenos en superficies de linfocitos.
   d. Los macrófagos surgen de los monocitos generados en la médula. Éstos fagotizan patógenos y presentan parte de los antígenos en sus superficies para que sean reconocidos por las células T.
4. Respuesta inmunitaria humoral (mediada por anticuerpo):
   a. La selección clonal de células B tiene lugar cuando los antígenos enlazan con sus receptores, haciendo que proliferen. La mayoría de los miembros clones se convierten en células plasmáticas, que secretan anticuerpos. Este acto se denomina *respuesta inmunitaria primaria*.
   b. Otros miembros clones se convierten en células B con memoria, capaces de organizar un ataque rápido contra el mismo antígeno en encuentros subsiguientes contra el mismo antígeno *(respuesta inmunitaria secundaria)*. Estas células facilitan la "memoria" inmunitaria.
   c. La inmunidad humoral activa se adquiere durante una infección por una vacuna y facilita memoria inmunitaria. La actividad pasiva se confiere cuando los anticuerpos de un donante son inyectados en el flujo sanguíneo o cuando los anticuerpos de la madre atraviesan la placenta. No facilita memoria inmunitaria.
   d. Estructura básica de los anticuerpos:
      (1) Los anticuerpos son proteínas generadas por células B sensibilizadas o células plasmáticas en respuesta a un antígeno, y son capaces de enlazar con dicho antígeno.
      (2) Un anticuerpo está compuesto por cuatro cadenas de polipéptidos (dos pesadas y dos ligeras) que forman una molécula con forma de T o de Y.
      (3) Cada cadena polipeptídica tiene una zona variable y una constante. Las zonas variables forman asentamientos de antígenos-enlace, cada uno en uno de los brazos de la T o de la Y. Las regiones constantes determinan la función y la clase del anticuerpo.
      (4) Existen cinco clases de anticuerpos: IgA, IgG, IgM, IgD, IgE. Se diferencian en la estructura y en la funcionalidad.
      (5) Las funciones de los anticuerpos incluyen fijación del complemento, neutralización, precipitación y aglutinamiento.
      (6) Los anticuerpos monoclonales son preparados puros de un solo tipo de anticuerpo útiles a la hora de diagnosticar varias enfermedades infecciosas y el cáncer, así como en el tratamiento de algunos cánceres.
5. Respuesta inmunitaria celular (mediada por células):
   a. Las células T se sensibilizan enlazando un antígeno y una autoproteína mostrada en la superficie de un macrófago u otro tipo de célula presentadora de antígenos. Tiene lugar una selección y los miembros clones se diferencian en células T efectoras o células T con memoria.
   b. Existen varias clases de células T. Las células T citotóxicas (asesinas) atacan directamente y lisan células infectadas y cancerígenas. Las células T cooperantes interactúan directamente con las células B enlazadas con los antígenos. También liberan citoquinas, sustancias químicas que potencian la actividad asesina de los macrófagos, atraen otros leucocitos o actúan como factores de cooperación que estimulan la actividad de las células B y T citotóxicas, así como los macrófagos promocionan una reacción alérgica tardía. Las células T reguladoras terminan la respuesta inmunitaria normal liberando sustancias químicas supresoras.

6. Los trasplantes de órganos incluyen autoinjertos, isoinjertos, aloinjertos y xenoinjertos. El injerto más habitual es el aloinjerto. El injerto se lleva a cabo con grupo sanguíneo y un tejido coincidentes para asegurar la mayor coincidencia posible; un trasplante de órganos va seguido de una terapia inmunodepresora.
7. Trastornos de la inmunidad
   a. La enfermedad autoinmune ocurre cuando se rompe la autotolerancia del organismo y los anticuerpos y/o células T atacan sus propios tejidos. La mayoría de las formas de la enfermedad autoinmune son un resultado de la programación ineficiente de la programación linfocítica en el feto, cambia su estructura de autoantígeno o su apariencia de autoantígenos anteriormente escondidos en sangre, y tiene lugar una reacción cruzada con autoantígenos y anticuerpos formados contra antígenos extraños.
   b. En alergias o hipersensibilidad, el sistema inmunitario reacciona de forma desmesurada ante cualquier antígeno normalmente inocuo, y se produce la destrucción del tejido. La hipersensibilidad (aguda) inmediata, tal y como se puede observar en los casos de fiebre del heno, urticarias y anafilaxis, es debida a los anticuerpos IgE. La hipersensibilidad atrasada (por ejemplo, dermatitis por contacto) refleja la actividad de células T, macrófagos y linfoquinas.

   WEB Actividad: Chapter 12, Events in Allergic Reaction.

   c. Las inmunodeficiencias son el resultado de anomalías en cualquier elemento inmune. Las más graves son la enfermedad inmunodeficiente combinada severa (una enfermedad congénita) y el sida, una enfermedad de inmunodeficiencia adquirida causada por un virus que ataca y mutila las células T cooperantes.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA LINFÁTICO Y LAS DEFENSAS DEL ORGANISMO (págs. 431, 435)

1. Los vasos linfáticos están formados por venas ramificadas. La glándula timo es el primer órgano linfático que aparece en el embrión. Otros órganos linfáticos permanecen relativamente infradesarrollados hasta después del nacimiento.
2. La respuesta inmunitaria se desarrolla aproximadamente en el momento del nacimiento.
3. La capacidad de las células inmunocompetentes de reconocer antígenos extraños está determinada genéticamente. El estrés parece interferir con la respuesta inmunitaria normal.
4. La eficiencia de la respuesta inmunitaria se reduce en la vejez, y las infecciones, el cáncer, las inmunodeficiencias y las enfermedades autoinmunes se convierten en la tónica predominante.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta

1. Los capilares linfáticos
   a. tienen extremos abiertos, como las pajitas para beber.
   b. tienen fuertes uniones continuas, como los capilares cerebrales.
   c. contienen células endoteliales separadas por válvulas en forma de aleta que pueden abrirse completamente.
   d. tienen barreras especiales para impedir que penetren las células cancerígenas.
2. ¿Qué partes del ganglio linfático muestran un incremento de actividad cuando la producción de anticuerpos es alta?
   a. Centros germinales.
   b. Folículo exterior.
   c. Cordones medulares.
   d. Senos medulares.
3. ¿Cuál/es de los siguientes conectan con ganglios linfáticos en el hilio?
   a. Vasos linfáticos aferentes.
   b. Vasos linfáticos eferentes.
   c. Trabécula.
   d. Filamentos de anclaje.
4. ¿Cuáles de los siguientes son parte del MALT?
   a. Amígdalas.
   b. Timo.
   c. Placas de Peyer.
   d. Cualquier tejido linfático del tracto digestivo.
5. Desde el punto de vista del desarrollo, los vaso linfáticos embrionales están más estrechamente relacionados con
   a. las venas.
   b. las arterias.
   c. los nervios.
   d. la glándula timo.
6. ¿Cuáles de los siguientes están entre los indicadores de inflamación más comunes?
   a. Fagocitosis.
   b. Edema.
   b. Leucocitosis.
   d. Dolor.
7. Los agentes químicos mediadores en la inflamación incluyen
   a. el interferón.
   b. el complemento.
   c. la histamina.
   d. los anticuerpos.
8. ¿Contra cuál de los siguientes sería provechosa la actuación del interferón?
   a. Infección de células del organismo por virus.
   b. Virus circulando libremente.
   c. Algunos tipos de cáncer.
   c. Infección bacteriana.

9. ¿Cuál de estas clases de anticuerpo está normalmente organizada como un pentámero?
   a. IgG.
   b. IgM.
   c. IgA.
   d. IgD.
10. ¿Qué partes de una molécula de anticuerpo son diferentes para un anticuerpo IgG que para un anticuerpo IgM que ataca al mismo antígeno?
    a. La zona constante de cadena pesada.
    b. La zona variable de cadena pesada.
    c. La zona constante de cadena ligera.
    d. La zona variable de cadena ligera.
11. ¿Cuál de las siguientes capacidades de los anticuerpos provoca una reacción de transfusión con los antígenos eritrocitos A o B?
    a. Neutralización.
    b. Precipitación.
    c. Fijación del complemento.
    d. Aglutinación.
12. ¿Cuál/es de los siguientes es/son ejemplos de enfermedad autoinmune?
    a. Diabetes tipo 1.
    b. Esclerosis múltiple
    c. Enfermedad de Graves.
    d. Artritis reumatoide.
13. El principal objetivo celular del virus HIV que es causa del sida es
    a. las células T cooperantes.
    b. las células T citotóxicas.
    c. los macrófagos.
    d. las células B.

Respuestas breves

14. ¿Cuál es la función más importante de los ganglios linfáticos?
15. Compara y contrasta la sangre, el fluido intersticial y la linfa.
16. ¿Cuál es el rol especial de las amígdalas? ¿y del bazo?
17. Además de actuar como barreras mecánicas, la piel y las mucosas del organismo contribuyen a la protección del mismo de otras maneras. Cita las zonas del organismo comunes y la importancia de la mucosa, la lisozima, la queratina, el pH ácido y la cilia.
18. ¿Qué es el complemento? Además de la lisis bacteriana, ¿cuáles son algunos de los roles del complemento?
19. A los interferones nos referimos como proteínas antivirales. ¿Qué estimula su producción y cómo protegen a las células no infectadas?
20. Define *respuesta inmunitaria*.
21. ¿Cuál es la diferencia entre un antígeno completo y un antígeno incompleto (hapteno)?
22. Diferencia claramente entre la inmunidad humoral y la celular.
23. Aunque el sistema inmunitario tiene dos ramas, se ha dicho que: "Sin células T, no hay inmunidad". ¿Por qué es esto así?
24. Definir *inmunocompetencia*. ¿Qué indica que una célula B o T ha desarrollado inmunocompetencia? ¿Dónde tiene lugar la "fase de programación" en el caso de las células B?
25. El enlace de antígenos a receptores de linfocitos inmunocompetentes lleva a la selección clonal. Describe el proceso de la selección clonal. ¿Qué célula no linfocito es la actriz principal de este proceso y cuál es su función?
26. Nombra los tipos de célula que estarían presentes en un clon de célula B, y explica la función de cada tipo.
27. Describe los papeles específicos de las células cooperantes, citotóxicas y T reguladoras en una inmunidad mediada por células. ¿Cuál de ellas se cree que es la que se desactiva en el sida?
28. Compara y contrasta una respuesta inmunitaria primaria y una secundaria. ¿Cuál es más rápida y por qué?
29. Describe la estructura de un anticuerpo y explica la importancia de sus zonas variable y constante.
30. Nombra las cinco clases de inmunoglobulinas. ¿Cuál es la que se encuentra más probablemente unida a una membrana de célula B? ¿Cuál es la más abundante en el plasma? ¿Cuál es importante en respuestas alérgicas? ¿Cuál es el primer Ig liberado durante la respuesta primaria? ¿Cuál puede cruzar la barrera de la placenta?
31. ¿Cómo colaboran los anticuerpos en la defensa del organismo?
32. Distingue entre tipos de alergia inmediatos y reacciones alérgicas retrasadas en cuanto a su causa y consecuencias.
33. ¿Qué puede producirse como resultado de la pérdida de autotolerancia y de la enfermedad autoinmune?
34. ¿Dónde tendrían impacto la falta de células B con memoria para un antígeno en particular, en la primera respuesta o la segunda respuesta humoral?

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

35. Cuando un bebé recibe su primera dosis oral de la vacuna contra la polio, la enfermera explica a los padres que la vacuna es un preparado para debilitar el virus. ¿Qué tipo de inmunidad desarrollará el bebé?

36. Algunas personas con déficit de IgA muestran sinusitis paranasal recurrente e infecciones del tracto respiratorio. Explica estos síntomas.

37. El señor Jurado, un hombre de 80 años, se queja de tener que recibir una vacuna contra la gripe todos los años. Los virus de la gripe tienen un alto nivel de mutación (pasan por rápidos cambios genéticos), que resulta en la aparición de nuevas proteínas al "abrigo" del virus de la gripe. ¿Cómo ayuda esto a explicar la necesidad de recibir dicha vacuna contra la gripe todos los años?

38. La señora Martínez, una mujer de 59 años, ha sido intervenida para efectuarle una mastectomía radical izquierda (extirpación del pecho izquierdo y ganglios y vasos linfáticos axilares). Su brazo izquierdo está gravemente inflamado y le causa dolor, no es capaz de levantarlo más arriba del hombro. (a) Explica los signos y los síntomas que presenta. (b) ¿Puede esperar que estos síntomas se alivien con el tiempo? ¿Cómo?

39. Los linfocitos circulan de forma continua a través del organismo utilizando la sangre y la linfa como medio de transporte. ¿Cuál es la importancia de este comportamiento de recirculación?

CAPÍTULO

13

El aparato respiratorio

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, conocerás las funciones del aparato respiratorio y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LA FUNCIÓN

- El aparato respiratorio aporta oxígeno a la sangre al tiempo que expulsa dióxido de carbono.

NUESTROS OBJETIVOS

Anatomía funcional del aparato respiratorio (págs. 441-448)

- Conocer los órganos que forman el aparato respiratorio desde la cavidad nasal hasta los alvéolos pulmonares (o identificarlos en un diagrama o modelo), así como describir la función de cada uno de ellos.
- Describir los distintos mecanismos de protección del aparato respiratorio.
- Describir la estructura y función de los pulmones y las pleuras.

Fisiología respiratoria (págs. 448-460)

- Definir *respiración celular, respiración externa, respiración interna, ventilación, espiración* e *inspiración*.
- Explicar el modo en que la musculatura respiratoria causa cambios de volumen para dirigir el flujo aéreo dentro o fuera de los pulmones (respiración).
- Definir los siguientes volúmenes respiratorios: *volumen corriente, capacidad vital, volumen de reserva espiratorio, volumen de reserva inspiratorio* y *volumen residual*.

- Enumerar los movimientos aéreos no respiratorios y explicar cómo modifican o difieren de los movimientos normales respiratorios.
- Describir el proceso de intercambio gaseoso que tiene lugar en los pulmones y los diferentes tejidos.
- Describir el transporte de oxígeno y de dióxido de carbono en la sangre.
- Nombrar las áreas del cerebro implicadas en el control de la respiración.
- Citar los distintos factores físicos que influyen en la frecuencia respiratoria.
- Explicar la importancia del oxígeno y del dióxido de carbono en la modificación de la frecuencia respiratoria y la profundidad.
- Explicar por qué no se puede dejar de respirar voluntariamente.
- Definir *apnea, disnea, hiperventilación, hipoventalización* y *enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)*.

Enfermedades respiratorias **(págs. 460-461)**

- Describir los síntomas y causas probables de la EPOC y el cáncer pulmonar.

Formación y desarrollo del aparato respiratorio **(págs. 461, 464)**

- Describir los cambios normales que se suceden en el aparato respiratorio desde la infancia hasta la vejez.

Los trillones de células del cuerpo requieren abundante y continuo aporte de oxígeno para llevar a cabo sus funciones vitales. No podemos vivir tanto tiempo sin oxígeno, al igual que no es posible vivir sin comida o agua. Además, al tiempo que las células utilizan el oxígeno expulsan dióxido de carbono como producto de desecho del que el cuerpo debe desprenderse.

Los *sistemas cardiovascular* y *respiratorio* comparten la responsabilidad de aportar oxígeno y eliminar dióxido de carbono. Los órganos del aparato respiratorio supervisan el intercambio gaseoso que se produce entre la sangre y el medio ambiente. Al utilizar la sangre como fluido de transporte, los órganos del sistema cardiovascular transportan los gases respiratorios entre pulmones y tejidos. Si alguno de estos sistemas falla, las células empiezan a morir por falta de oxígeno y acumulación de dióxido carbónico.

Anatomía funcional del aparato respiratorio

Los órganos del **aparato respiratorio** son: nariz, faringe, laringe, tráquea, bronquios y sus ramas, y los pulmones, que contienen los *alvéolos,* o terminaciones aéreas saculares. Debido a que el intercambio gaseoso ocurre *únicamente* en los alvéolos, las otras estructuras del aparato respiratorio no son más que vías de conducción que permiten que el aire alcance los pulmones. No obstante, estas vías tienen otra función muy importante, ya que purifican, humidifican y calientan el aire entrante. De este modo, el aire que alcanza los pulmones tiene bajo contenido en irritantes (como polvo o bacterias) respecto al aire que entró en el sistema; además, este aire es cálido y húmedo. Todos los órganos del aparato respiratorio están representados en la Figura 13.1.

La nariz

La **nariz,** tanto si es respingona como chata, es la única parte externamente visible del aparato respiratorio. Durante la respiración, el aire entra en la nariz a través de los **orificios nasales** o **narinas.** El interior de la nariz consta de la **cavidad nasal,** dividida en la línea media por el **tabique nasal.** Los *receptores olfatorios* se localizan en la mucosa de la hendidura superior de la cavidad nasal, justo debajo del hueso etmoides. El resto de la mucosa que tapiza la cavidad nasal, llamada *mucosa respiratoria,* descansa sobre una rica red de vénulas que calientan el aire a su paso. (Debido a la localización superficial de estos vasos sanguíneos, las hemorragias nasales son comunes y a menudo muy abundantes.)

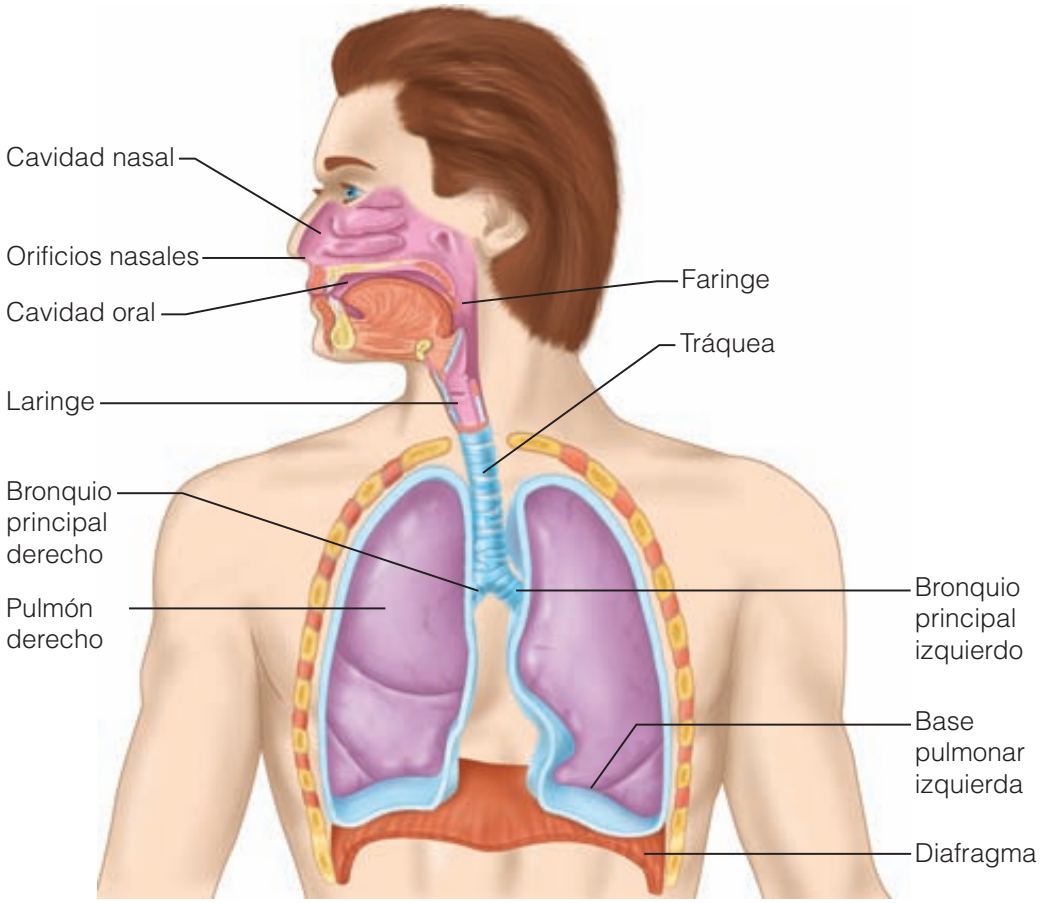


FIGURA 13.1 Principales órganos respiratorios mostrados en relación con las estructuras adyacentes.

Además, el espeso moco producido por las glándulas mucosas filtra el aire y atrapa las bacterias entrantes y otras partículas externas, y las enzimas lisosómicas del moco las destruyen mediante un proceso químico. Las células ciliadas de la mucosa nasal crean una corriente que mueve la capa de moco contaminado en sentido retrógrado hacia la garganta (faringe), de donde pasa al estómago para ser digerida por los jugos gástricos. Normalmente no somos conscientes de esta importante acción ciliar, pero cuando la temperatura externa es extremadamente fría, la acción de estos cilios se ralentiza, permitiendo al moco acumularse en la cavidad nasal y escaparse a través de los orificios nasales. Esto ayuda a explicar por qué se produce rinorrea en los días de duro invierno.

Tal como muestran las Figuras 13.1 y 13.2, las paredes laterales de la mucosa nasal son escarpadas debido a tres proyecciones mucosas recubiertas, o lóbulos, denominadas **cornetes,** que aumentan en gran medida la superficie de mucosa en contacto con el aire. Los cornetes también incrementan la turbulencia del aire en la cavidad nasal. Mientras el aire avanza haciendo remolinos a través de un tortuoso trayecto, las partículas inhaladas se depositan en la cubierta mucosa, donde quedan atrapadas, previniéndose su paso a los pulmones.

La cavidad nasal está separada de la cavidad oral por un tabique, el **paladar.** En su parte anterior, donde el paladar tiene un componente óseo, se denomina **paladar duro;** la parte sin componente óseo es el **paladar blando.**

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El defecto genético denominado **fisura palatina** (defecto en la fusión de los huesos que forman el paladar) tiene como consecuencia una respiración dificultosa, al igual que problemas con la cavidad oral y sus funciones, como masticar o hablar. ▲

La cavidad nasal está rodeada por un anillo de **senos paranasales** localizados en los huesos frontal, esfenoidal, etmoidal y maxilar (véase la Figura 5.10, pág. 147).

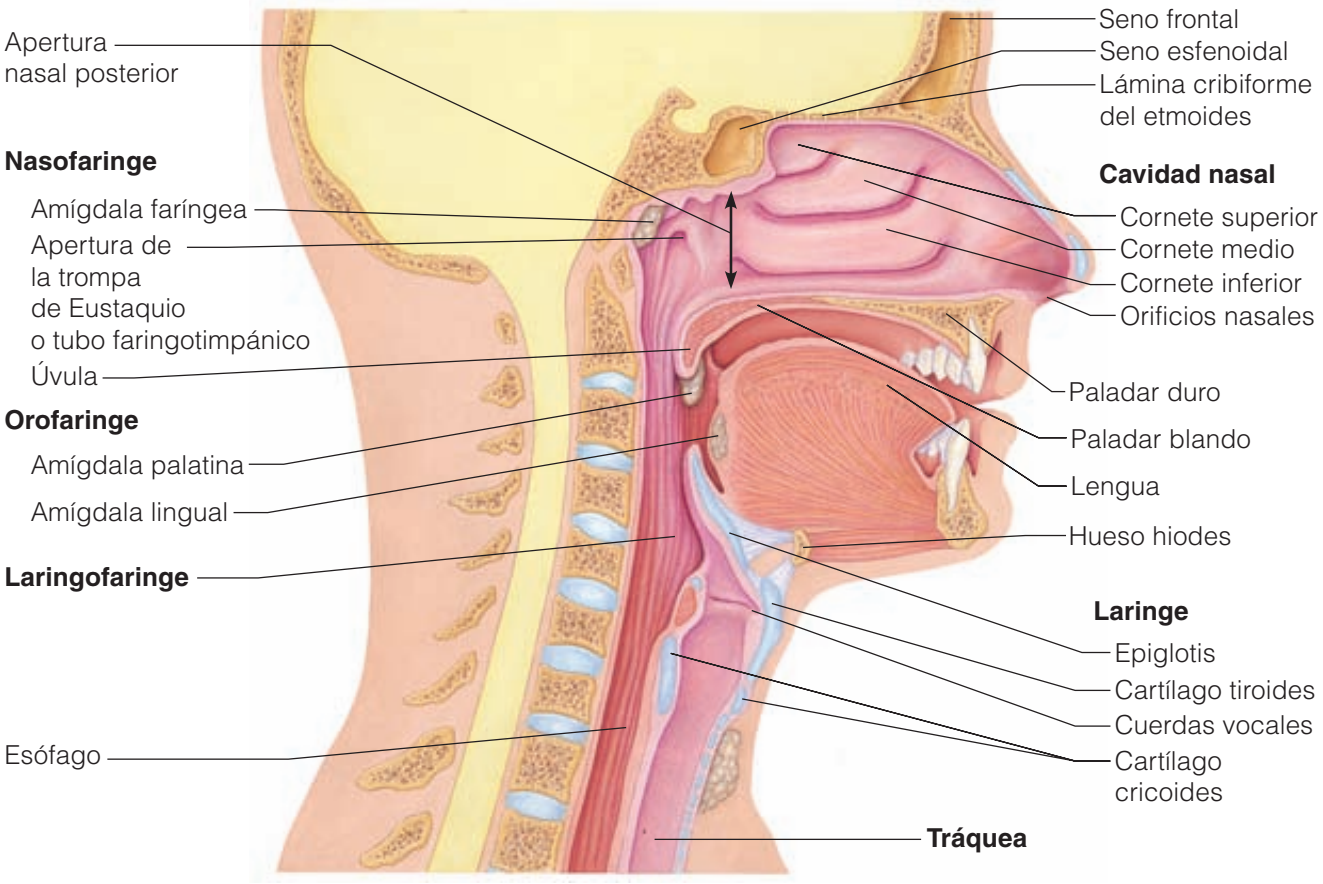


FIGURA 13.2 **Anatomía básica del aparato respiratorio superior en un corte sagital.**

Los senos aligeran el cráneo y actúan como caja de resonancia para el habla. También producen moco, que drena en la cavidad nasal. El efecto de succión que se produce al sonarse la nariz ayuda a drenar los senos. El *conducto nasolagrimal,* que drena las lágrimas procedentes de los ojos, también vacía su contenido en la cavidad nasal.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Frío, virus y diversos alérgenos pueden causar **rinitis,** esto es, inflamación de la mucosa nasal. El exceso de moco tiene como consecuencia congestión nasal y goteo postnasal. Debido a que la mucosa nasal es una puerta de entrada y salida del aparato respiratorio y que ésta se extiende hacia el conducto nasolagrimal (lágrimas) y los senos paranasales, las infecciones de la cavidad nasal migran a menudo hacia estas regiones. La **sinusitis,** o inflamación de los senos paranasales, es difícil de tratar y puede provocar cambios sustanciales en las características de la voz. Cuando las vías que conectan los senos con la cavidad nasal están bloqueadas o tienen un problema de tipo infeccioso, el aire de los senos se absorbe. El resultado es un vaciamiento parcial y **dolor de cabeza sinusal** localizado sobre la zona inflamada. ▲

Faringe

La **faringe** es un conducto muscular de unos 13 cm de longitud que recuerda a una pequeña manguera roja. Comúnmente llamada *garganta,* la faringe actúa como vía de paso de los alimentos y el aire (Figuras 13.1 y 13.2). Se comunica con la cavidad nasal, en posición anterior, a través de la **apertura nasal posterior.**

El aire entra por la porción superior, la **nasofaringe,** desde la cavidad nasal, y luego desciende a través de la **orofaringe** y **laringofaringe** para entrar en la laringe, situada debajo. El alimento entra por la boca y viaja después junto al aire a través de la orofaringe y la laringofaringe. En lugar de entrar en la laringe, el alimento se dirige al *esófago,* en posición posterior.

La *trompa de Eustaquio,* que drena al oído medio, se abre a la nasofaringe. Las mucosas de ambas regiones presentan solución de continuidad, por lo que las infecciones de oído, como la *otitis media,* pueden ser secundarias a un dolor de garganta u otras infecciones faríngeas.

Las agrupaciones de tejido linfático se denominan *amígdalas,* y se encuentran en la faringe. La **amígdala faríngea,** también llamada *adenoides,* se localiza en la parte alta de la nasofaringe. Las **amígdalas palatinas** están situadas en la orofaringe y la porción terminal del paladar blando, como las **amígdalas linguales,** que reposan en la base de la lengua. El papel de las amígdalas en la protección del organismo se describe en el Capítulo 12.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si las amígdalas faríngeas se inflaman y crecen (en el curso de una infección bacteriana), obstruyen la nasofaringe y obligan al individuo a respirar por la boca. En la respiración oral el aire no se humedece, calienta o filtra correctamente antes de alcanzar los pulmones. Muchos niños parecen tener continuamente **amigdalitis.** Hace años se creía que las amígdalas, aunque protectoras, daban más problemas que beneficios en estos casos, por lo que se extirpaban de forma rutinaria. Ahora, debido al extendido uso de antibióticos, ya no es necesario (o cierto). ▲

Laringe

La **laringe** dirige el aire y el alimento hacia sus conductos correspondientes y participa en el habla. Localizada en posición inferior a la faringe (véanse las Figuras 13.1 y 13.2), está formada por ocho rígidos cartílagos hialinos y una solapa en forma de cuchara compuesta por cartílagos elásticos, la epiglotis. El cartílago hialino más grande es el **tiroides,** que tiene forma de escudo, el cual protruye hacia delante, y es comúnmente conocido como *nuez.* A veces se hace referencia a la **epiglotis** como el *guardián de la vía aérea,* ya que ésta protege la apertura superior de la laringe. Cuando no tragamos, la epiglotis no impide el paso de aire hacia las vía aéreas inferiores. Sin embargo, cuando ingerimos alimentos o líquidos, la situación cambia por completo: la laringe asciende y la epiglotis se hace puntiaguda, tapando la apertura laríngea. Esto impulsa el alimento hacia el esófago y el tubo digestivo, situados en posición posterior. Si entra en la laringe otro elemento que no sea un alimento, se dispara el *reflejo de la tos* para expeler la sustancia y evitar que llegue a los pulmones. Debido a que este reflejo *no* funciona cuando perdemos la conciencia, nunca se deben administrar líquidos a una persona inconsciente a la que se intenta reanimar.

- Palpa tu laringe posicionando tu mano en la línea media de la superficie anterior del cuello y traga. ¿Puedes sentir cómo sube la laringe mientras tragas?

Parte de la membrana mucosa de la laringe forma dos pliegues, llamados **cuerdas vocales,** o **cuerdas vocales verdaderas,** que vibran cuando expelemos aire. Esta capacidad de vibración de las cuerdas vocales es la que nos permite hablar. La hendidura entre las cuerdas vocales es la **glotis.**

Tráquea

El aire que entra en la **tráquea,** o *tubo descendente,* desde la laringe desciende a través de toda su longitud (10-12 cm) hasta el nivel de la quinta vértebra torácica, aproximadamente hasta la mitad del pecho (véase la Figura 13.1).

La tráquea es muy rígida porque sus paredes están reforzadas con anillos en forma de C de **cartílago hialino.** Estos anillos cumplen un doble propósito. La parte abierta del anillo linda con el *esófago* y le permite expandirse en sentido anterior durante la deglución de una gran porción de alimento. La parte sólida soporta las paredes de la tráquea y la mantiene *permeable* o abierta, pese a los cambios de presión que acontecen durante la respiración.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Debido a que la tráquea es la única vía por la que el aire puede llegar a los pulmones, la obstrucción traqueal es una amenaza para la vida. Es común la asfixia tras atragantarse con una porción de comida que de repente obstruye la tráquea impidiendo el paso de aire desde la glotis. La **maniobra de Heimlich,** un procedimiento en el cual el aire presente en los pulmones se utiliza para expulsar la pieza de alimento que obstruye, ha salvado a muchas personas de convertirse en víctimas de tal "asfixia por atragantamiento". La maniobra de Heimlich es fácil de aprender y de aplicar. De todos modos, la mejor forma de aprenderla es mediante demostraciones, porque el traumatismo costal es muy probable si no se realiza de forma correcta. En algunos casos de obstrucción respiratoria se practica una *traqueotomía* de emergencia (apertura quirúrgica de la tráquea) para proporcionar al aire una ruta alternativa hacia los pulmones. Los individuos a los que se les coloca un tubo de traqueotomía forman grandes acúmulos de moco en el lugar de colocación durante los primeros días, debido a la irritación de la tráquea. Por tanto, deben aspirarse esas secreciones con frecuencia durante ese tiempo para evitar el paso de ese moco hacia los pulmones. ▲

La tráquea está tapizada por una mucosa ciliada (Figura 13.3). Los cilios baten continuamente en dirección opuesta al aire entrante. Propulsan el moco cargado de

¿En qué dirección se dirige la energía de los cilios: en sentido ascendente hacia la boca o descendente hacia los pulmones?

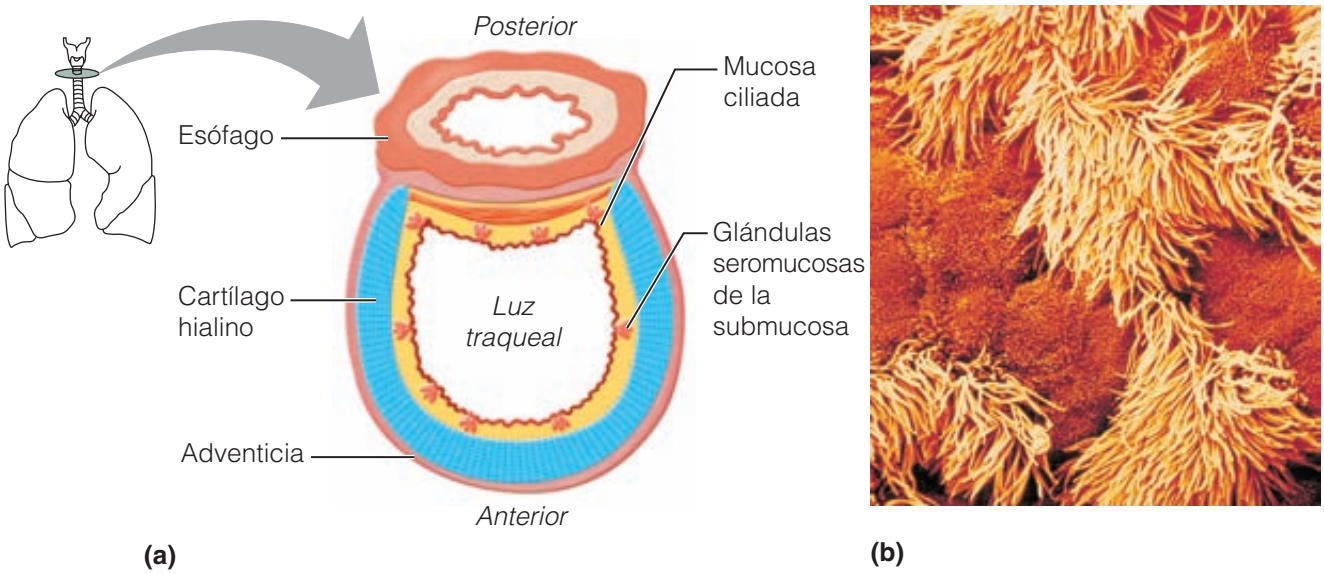


FIGURA 13.3 Relación estructural entre la tráquea y el esófago. **(a)** Vista de sección transversal. **(b)** Cilios traqueales. Los cilios son amarillos, proyecciones parecidas al césped rodeadas por células caliciformes secretoras de moco, que muestran unas microvellosidades cortas (naranja). (Microscopia electrónica de barrido 13.500×.)

partículas de polvo y otros agentes nocivos lejos de los pulmones, hacia la garganta, donde se tragan o se expectoran.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Fumar inhibe la motilidad ciliar y finalmente destruye los cilios. Sin cilios la tos es el único mecanismo que impide la acumulación de moco. Los fumadores con congestión respiratoria deben evitar tomar fármacos que inhiban el reflejo de la tos. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Por qué es preferible la respiración nasal a la oral?
2. ¿Cuál es la función específicamente protectora de los cilios en la tráquea?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

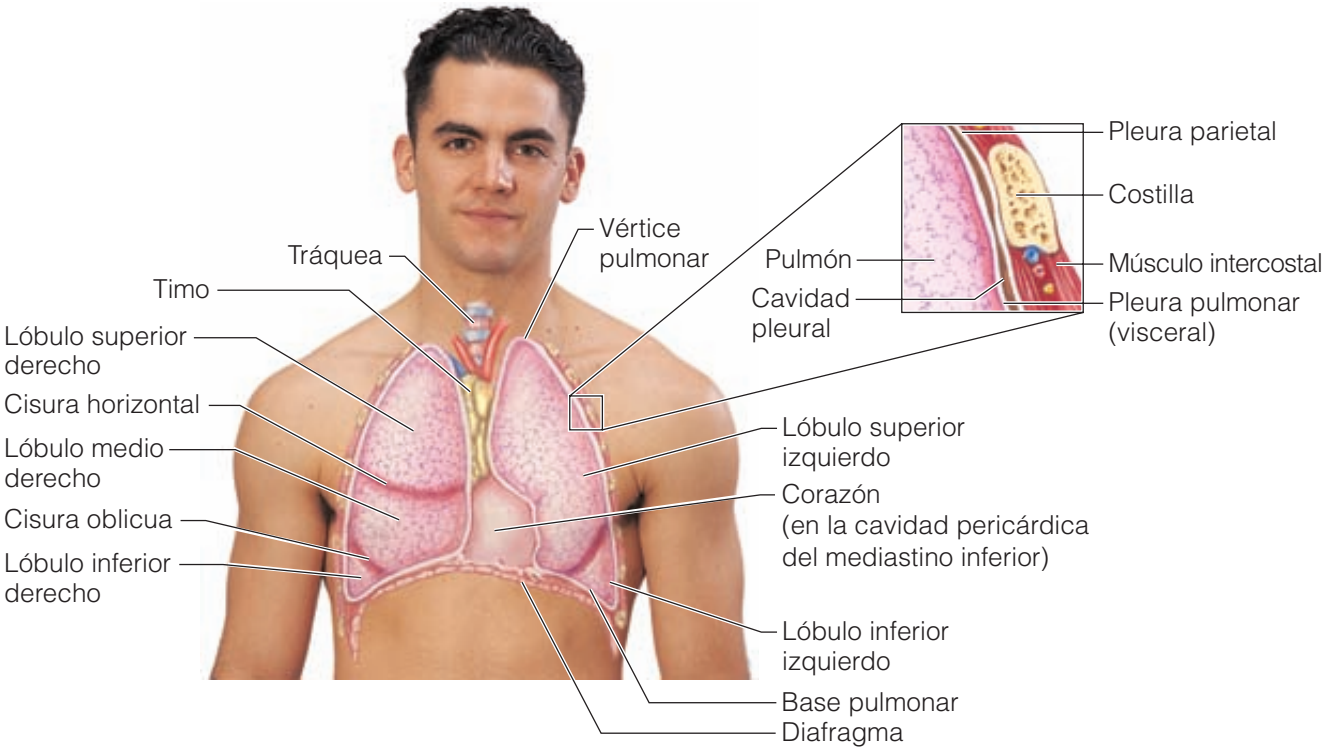
En sentido ascendente, hacia la boca, para prevenir que sustancias indeseadas entren en los pulmones.

Bronquios principales

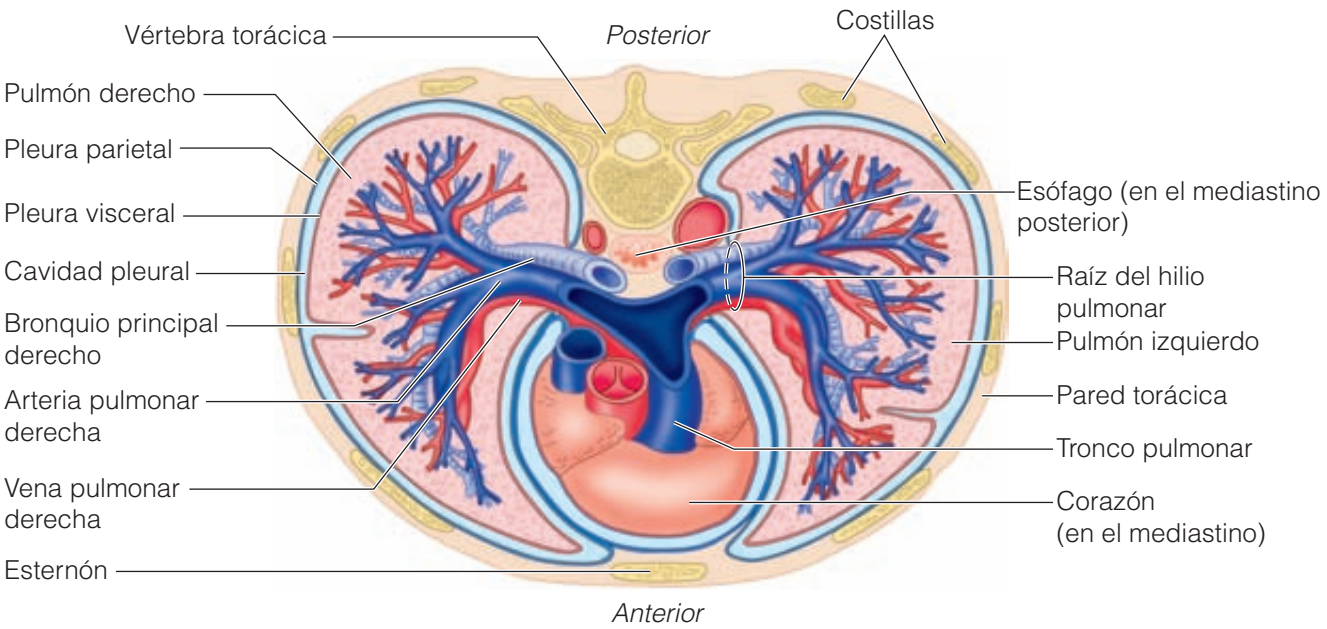
Los **bronquios principales (primarios)** izquierdo y derecho se forman por división de la tráquea. Cada bronquio principal discurre con trayectoria oblicua antes de hundirse en la depresión medial *(hilio)* del pulmón correspondiente (véanse las Figuras 13.1 y 13.4). El bronquio principal derecho es más ancho, corto e inclinado que el izquierdo. Así, éste es el lugar más común donde terminan alojándose los cuerpos extraños inhalados. Cuando el aire alcanza los bronquios principales es cálido, libre de la mayoría de las impurezas, y está bien humidificado. Las subdivisiones más pequeñas de los bronquios principales dentro de los pulmones son vías directas hacia los alvéolos.

Pulmones

Los **pulmones** son órganos de gran tamaño. Ocupan toda la cavidad torácica excepto su porción central, el **mediastino,** que engloba el corazón (en la región inferior del pericardio), los grandes vasos sanguíneos, los bronquios, el esófago y otros órganos (véase la Figura 13.4). La estrecha porción superior de los pul-



(a) Visión anterior de los órganos de la cavidad torácica, mostrando la posición de los pulmones, que flanquean al corazón



(b) Sección trasversal del tórax, que muestra la relación de los principales órganos presentes en el mismo

FIGURA 13.4 Relaciones anatómicas de los órganos de la cavidad torácica.

mones, el **ápex,** está justo debajo de la clavícula. La parte ancha del pulmón que descansa sobre el diafragma es la **base.** Cada pulmón está dividido en lóbulos por las cisuras; el pulmón izquierdo tiene dos lóbulos, mientras que el derecho tiene tres.

La superficie de cada pulmón se halla recubierta por una capa serosa visceral denominada **pleura pulmonar** o **visceral;** la pared torácica está tapizada por la **pleura parietal.** Las membranas pleurales producen *líquido pleural,* una secreción serosa resbaladiza que permite a los pulmones deslizarse sobre la pared torácica durante los movimientos respiratorios, y hace que las dos capas se aferren mutuamente. Las hojas pleurales pueden desplazarse con facilidad de lado a lado la una contra la otra, pero ofrecen gran resistencia a ser separadas. De esta forma, los pulmones se agarran con fuerza a la pared torácica, y el **espacio pleural** es más un espacio virtual que uno verdadero. Descrito de manera resumida, esta condición de fuerte adherencia de las membranas pleurales es absolutamente esencial para una respiración normal. La Figura 13.4 muestra la posición de la pleura en los pulmones y la pared torácica.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La **pleuresía** o **pleuritis,** inflamación de la pleura, puede ser consecuencia de una disminución de la secreción de líquido pleural. La superficie se torna seca y áspera, dando como resultado fricción y dolor punzante con cada ciclo respiratorio. En cambio, puede producirse el proceso inverso: la pleura puede producir un exceso de fluido, que ejerce presión sobre los pulmones. Este tipo de pleuresía obstaculiza los movimientos respiratorios, pero es mucho menos dolorosa que el tipo seco por fricción. ▲

Después de entrar en los pulmones, los bronquios principales se subdividen en bronquios cada vez más pequeños (bronquios secundarios, terciarios, y así sucesivamente), terminando en las vías conductoras más pequeñas, los **bronquiolos** (Figura 13.5). Debido esta ramificación sucesiva de las vías respiratorias dentro de los pulmones, la red que se forma se denomina habitualmente *árbol respiratrorio* o *bronquial.* A excepción de las ramas menores, todas las ramas tienen su pared reforzada con cartílago.

Los *bronquiolos terminales* se continúan con el *acino respiratorio*, conductos aún más pequeños que finalmente terminan en los **alvéolos** (*alvéolo,* cavidad pequeña), o sacos aéreos. El **acino respiratorio,** que incluye el *bronquiolo respiratorio,* el *conducto alveolar,* el *saco alveolar* y los alvéolos, es el único lugar en el que se produce el intercambio gaseoso. Las otras vías respiratorias son **zonas de conducción hacia el acino respiratorio.** Hay millones de alvéolos agrupados, que simulan racimos de uvas y componen la masa pulmonar. De esta forma, los pulmones son espacios aéreos mayoritariamente. La estructura que sostiene el tejido pulmonar es el *estroma,* que es en gran parte tejido conectivo elástico que permite a los pulmones retraerse pasivamente en la espiración. Por tanto, y a pesar de su relativo gran tamaño, los pulmones pesan alrededor de 1,5 kg y son suaves y esponjosos.

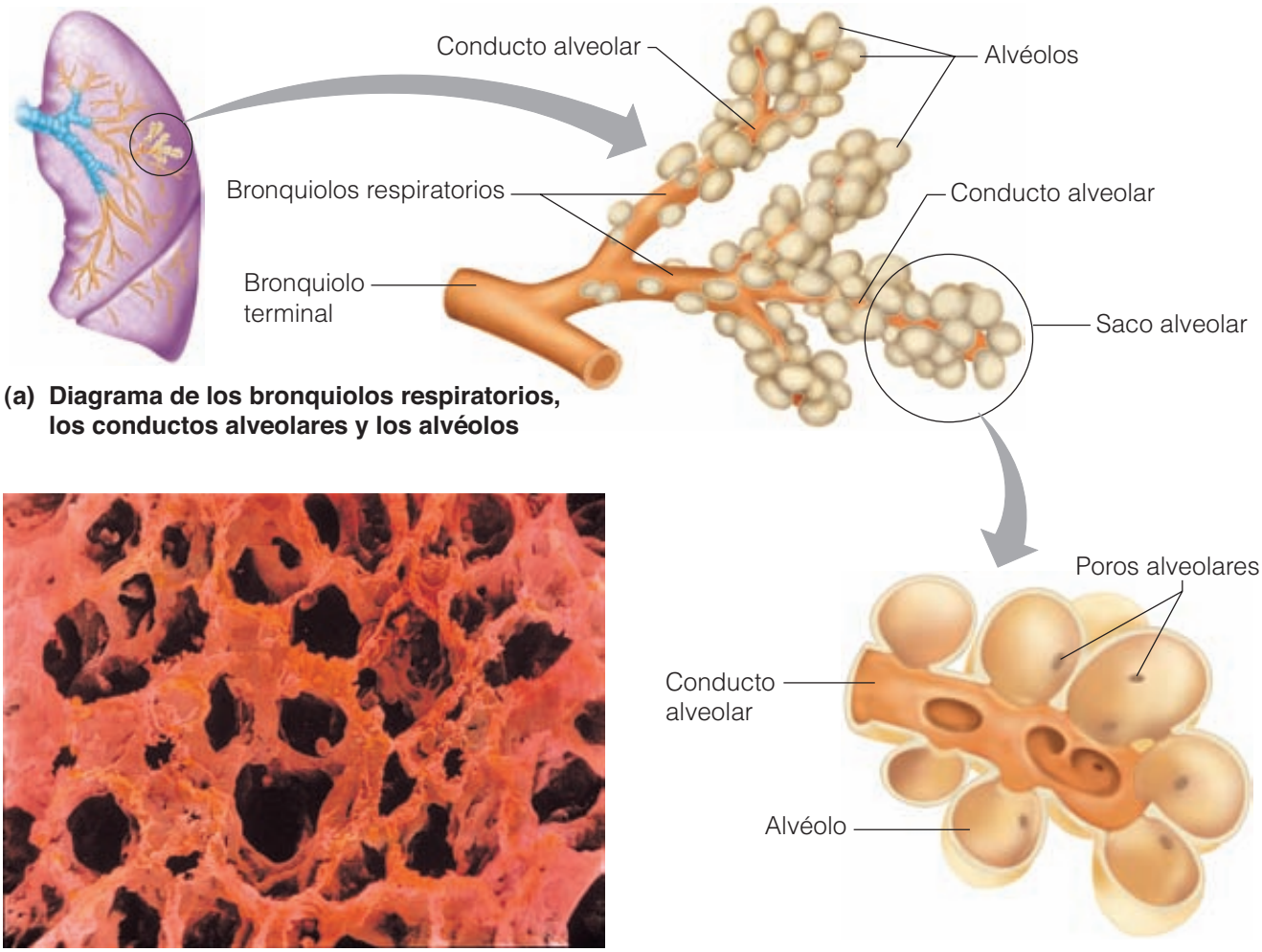
Membrana respiratoria

La paredes de los alvéolos se componen en gran parte por una única y fina capa de células escamosas epiteliales. La delgadez de sus paredes es difícil de imaginar, e incluso una lámina de un pañuelo de papel es bastante más gruesa. Los *poros alveolares* conectan sacos vecinos y proporcionan rutas alternativas al aire para alcanzar alvéolos cuyos bronquios tributarios están atascados por un tampón de moco o cualquier otro tipo de bloqueo. La superficie externa de los alvéolos está cubierta por una red en forma de mazorca de capilares pulmonares. Juntos, los alvéolos y las paredes capilares, sus membranas basales fusionadas y algunas fibras elásticas constituyen la **membrana respiratoria (barrera hemato-aérea),** en la que hay gas (aire) pasando hacia un lado y sangre pasando hacia el otro. El intercambio gaseoso se produce mediante una difusión simple a través de la membrana respiratoria: el oxígeno pasa del aire alveolar hacia el capilar, y el dióxido de carbono abandona la sangre para entrar en el alvéolo lleno de aire. Se estima que la superficie total para el intercambio gaseoso proporcionada por las paredes alveolares es de unos 50 a 70 metros cuadrados en un individuo sano, o aproximadamente 40 veces mayor que la superficie de su piel.

La última línea de defensa del aparato respiratorio la constituyen los alvéolos. Los **macrófagos alveolares,** de destacada eficiencia, a veces denominados "células de polvo", recorren el camino dentro y fuera del alvéolo recogiendo bacterias, partículas de carbón y otros agentes nocivos. Además, dispersas entre las células epiteliales que forman la mayoría de las paredes alveolares hay células cuboides robustas, que se diferencian notablemente de las células epiteliales escamosas. Las células cuboides producen una molécula lipídica (grasa) denominada *surfactante,* que cubre la superficie alveolar expuesta a gases y es muy importante para el funcionamiento pulmonar (como se describe en la página 461).

¿LO HAS ENTENDIDO?

3. ¿Cuál es el orden de las siguientes partes del aparato respiratorio humano desde el lugar donde el aire entra por los orificios nasales hasta donde al-



(a) Diagrama de los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares y los alvéolos

(b) Microscopia electrónica de barrido (SEM) de tejido pulmonar humano mostrando las últimas divisiones del árbol respiratorio (475×).

FIGURA 13.5 Estructuras respiratorias.

canza las vías terminales de los pulmones: bronquios, laringe, cavidad nasal, alveolo, tráquea, faringe, bronquiolos?

4. ¿Qué bronquio principal es la localización más probable de un cuerpo extraño inhalado?
5. Los pulmones están compuestos mayoritariamente por vías de conducción y tejido elástico. ¿Cuál es el papel de las vías de conducción? ¿Y el del tejido elástico?
6. Enumera cuatro estructuras que conforman el acino respiratorio.

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Fisiología respiratoria

La función principal del aparato respiratorio es aportar oxígeno al organismo y expulsar el dióxido de carbono. Para hacerlo, deben producirse de forma simultánea cuatro acciones diferentes, llamadas **respiración:**

1. **Ventilación pulmonar.** El aire debe entrar y salir de los pulmones de modo que los gases que están en los sacos aéreos (alvéolos) de los pulmones se renuevan continuamente. Este proceso de ventilación pulmonar suele denominarse **respiración.**
2. **Respiración externa.** El intercambio gaseoso (carga de oxígeno y descarga de dióxido de carbono

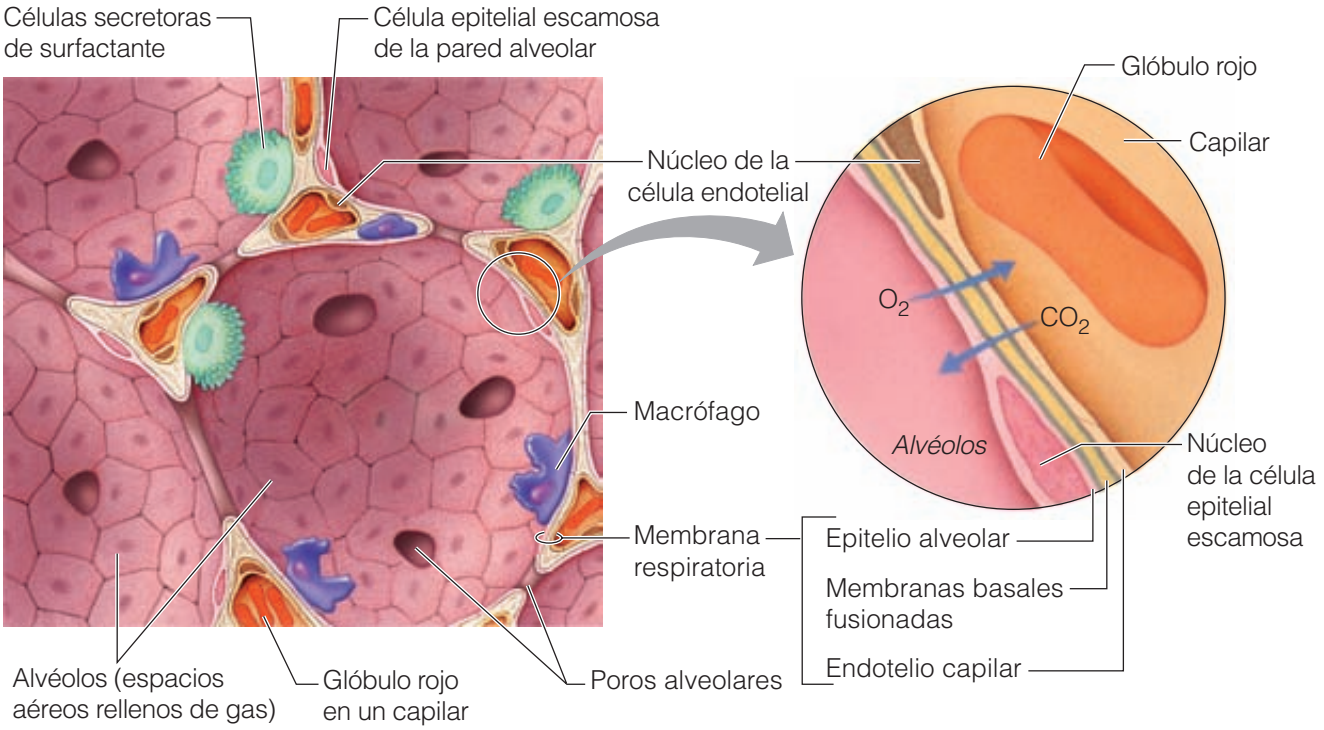


FIGURA 13.6 Anatomía de la membrana respiratoria (barrera aerohemática). La membrana respiratoria se compone de células epiteliales escamosas del alvéolo, del endotelio capilar y de las membranas basales respectivas. También se muestran las células secretoras de surfactante. El oxígeno difunde desde el aire alveolar hacia los capilares pulmonares; el dióxido de carbono difunde de la sangre pulmonar hacia el alvéolo. Los alvéolos vecinos están unidos por pequeños poros.

debe tener lugar entre la sangre pulmonar y los alvéolos. Recuerda que en la respiración externa, el intercambio gaseoso se realiza entre la sangre y el *exterior* del cuerpo.

3. **Transporte de gases.** El oxígeno y el dióxido de carbono viajan a través del torrente sanguíneo desde los pulmones a los tejidos del organismo, y viceversa.
4. **Respiración interna.** En los capilares sistémicos, el intercambio gaseoso debe hacerse entre la sangre y las células de los tejidos*. En la respiración interna, el intercambio gaseoso tiene lugar entre las células sanguíneas en el *interior* del cuerpo.

*El *uso* real del oxígeno y la producción de dióxido de carbono por parte de las células tisulares, que constituye la **respiración celular,** es el punto clave de todas las reacciones cuya misión es la producción de energía. La respiración celular, que tiene lugar en todas las células del organismo, se estudia con más detalle en el Capítulo 14.

Aunque sólo los dos primeros procesos son responsabilidad específica del aparato respiratorio, los cuatro procesos son necesarios para completar el intercambio gaseoso. A continuación se describe cada uno de estos procesos.

Mecanismos de la respiración

La respiración, o ventilación pulmonar, es un proceso mecánico completo del cual dependen los cambios de volumen que se producen en la cavidad torácica. Aquí se muestra una regla para hacernos una idea del mecanismo de la ventilación pulmonar: *los cambios de volumen llevan a cambios de presión, que hacen que el flujo de gases equipare esa presión.*

Un gas, al igual que un líquido, adopta siempre la forma de su continente. Sin embargo, a diferencia de un líquido, el gas *rellena* el continente. Por tanto, en un gran volumen, las moléculas de gas estarán muy separadas y la presión (creada por las moléculas de gas golpeándose unas contra otras y contra las paredes del conti-

P *Teniendo en cuenta que los pulmones no tienen músculo esquelético, ¿por qué se inflan?*

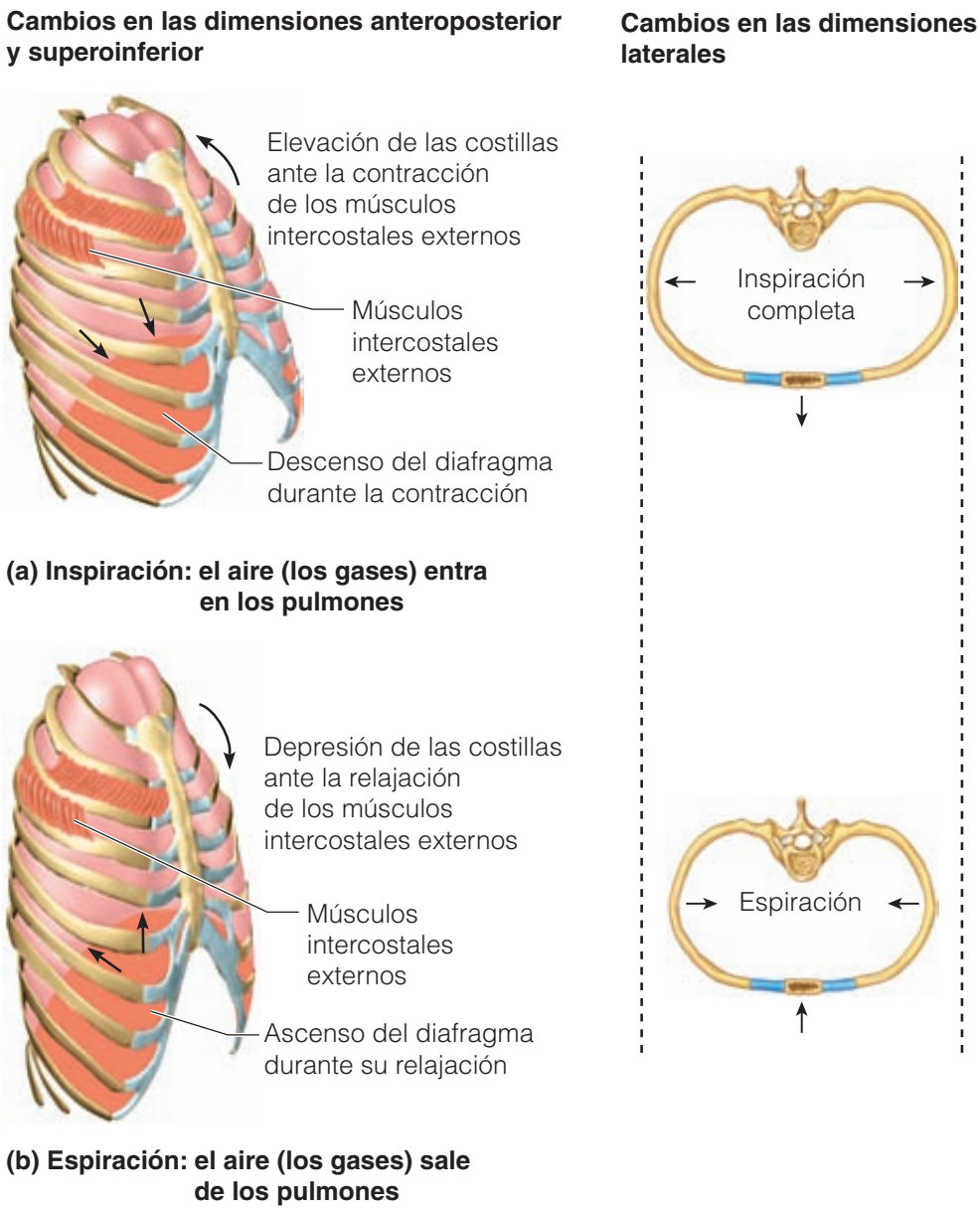


FIGURA 13.7 Posición de la parrilla costal y del diafragma durante la ventilación pulmonar. (a) Al final de una inspiración normal: el tórax se expande lateralmente, la parrilla costal se eleva y el diafragma se deprime y aplana. Los pulmones se estiran de manera acorde con el crecimiento del volumen torácico, provocando la caída de la presión intrapulmonar y la entrada de aire en los pulmones. **(b)** Al final de la espiración: el tórax se deprime y el diámetro lateral se reduce, la parrilla costal desciende y el diafragma se eleva adoptando su forma de cúpula. Los pulmones se retraen disminuyendo su volumen, crece la presión intrapulmonar y el aire sale de los pulmones.

R *El agrandamiento de la cavidad torácica debido a la contracción del diafragma y los músculos intercostales da lugar a un descenso de la presión en los pulmones respecto al exterior. Esta diferencia de presión lleva al aire a fluir hacia los pulmones y expandirse.*

nente) será baja. Si el volumen es reducido, las moléculas de gas estarán más juntas, aumentando, por tanto, la presión. Comprobemos esta relación con las dos fases de la ventilación pulmonar, la **inspiración,** cuando el aire fluye hacia los pulmones, y la **espiración,** cuando el aire abandona los pulmones.

Inspiración

Cuando los músculos inspiratorios, el **diafragma** y los **intercostales externos** se contraen, aumenta el tamaño de la cavidad torácica. Mientras el diafragma con forma de cúpula se contrae, se mueve hacia abajo y se aplana (se deprime). Como resultado, la dimensión supero-inferior (altura) de la caja torácica aumenta. La contracción de los músculos intercostales externos eleva la parrilla costal y tira del esternón hacia delante, aumentando así los planos anteroposterior y lateral del tórax (Figura 13.7a). Los pulmones están fuertemente adheridos a la pared torácica (debido a la tensión superficial del fluido que se encuentra entre las membranas pleurales) y, por tanto, se expanden de manera acorde con el nuevo y mayor tamaño del tórax. Mientras, el **volumen intrapulmonar** (el volumen que hay dentro de los pulmones) aumenta, y los gases contenidos en los pulmones se expanden para llenar este espacio agrandado. El descenso de presión que tiene lugar en los pulmones produce una presión negativa (presión inferior a la atmosférica) que succiona el aire hacia éstos (Figura 13.8). El aire continúa movilizándose hacia los pulmones hasta que la presión se equipara con la atmosférica. Esta serie de acontecimientos se denomina *inspiración* (inhalación).

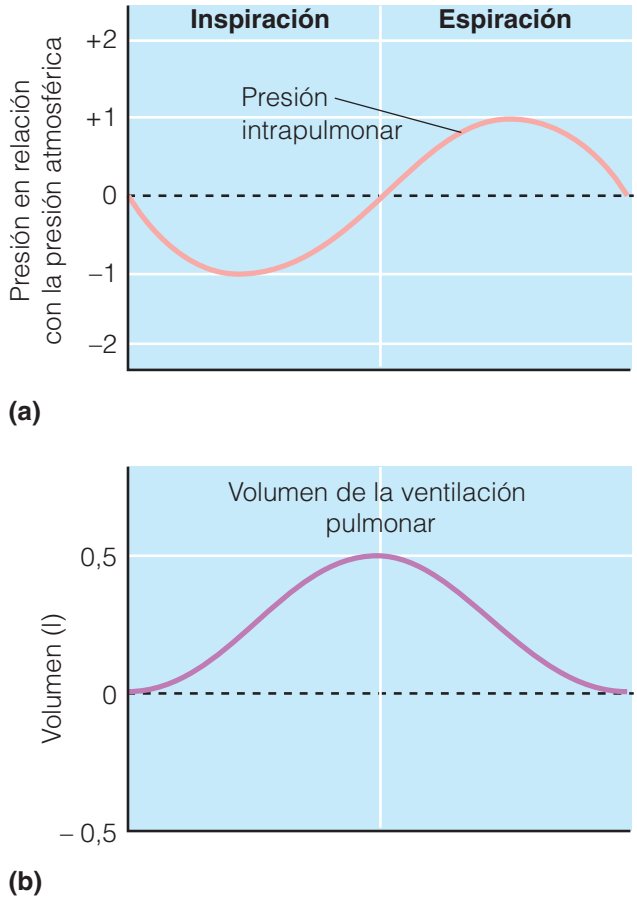


FIGURA 13.8 **Cambios en la presión intrapulmonar y flujo aéreo durante la inspiración y la espiración.**

Espiración

La *espiración* (exhalación) en personas sanas es un proceso en gran parte pasivo que depende más de la elasticidad pulmonar natural que de la contracción pulmonar. A medida que los músculos inspiratorios se relajan y recuperan su longitud de reposo, la parrilla costal desciende y los pulmones se retraen. De este modo, tanto el volumen intrapulmonar como el torácico decrecen (Figura 13.3b), se fuerza a los gases intrapulmonares a juntarse, y la presión intrapulmonar crece hasta superar a la atmosférica (véase la Figura 13.8). Esto provoca que los gases salgan para igualar la presión dentro y fuera de los pulmones. En condiciones normales, la espiración es no forzada, pero si las vías respiratorias se estrechan por espasmos bronquiolares (como en el *asma*) u ocupados por moco o fluidos (como en la *bronquitis crónica* o la *neumonía*), la espiración se convierte en un proceso activo. En estos casos de *espiración forzada,* los músculos intercostales se activan para ayudar al descenso de la parrilla costal, y los músculos abdominales se contraen y ayudan a expulsar el aire de los pulmones, movilizando las vísceras abdominales contra el diafragma.

La presión normal en el espacio pleural, **presión intrapleural,** *siempre* es negativa, siendo éste el factor principal en la prevención de la atelectasia pulmonar. Si por cualquier motivo la presión intrapleural se iguala con la atmosférica, los pulmones se retraen completamente de inmediato y se colapsan.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Durante la **atelectasia,** o colapso pulmonar, el pulmón no es viable para la ventilación. Este fenómeno se produce cuando el aire entra en el espacio pleural a través de una herida en el pecho, pero también puede deberse a una ruptura de la pleura visceral, que permite al aire entrar en el espacio pleural desde el aparato respiratorio. La presencia de aire en el espacio intrapleural, que interrumpe la unión líquida entre las hojas plurales, se denomina **neu-**

TABLA 13.1 Movimientos no respiratorios de aire (o gas)

Movimiento	Mecanismo y resultado
Tos	Se inspira profundamente, cerrando la glotis y forzando el aire procedente de los pulmones con fuerza hacia arriba contra la glotis. Entonces, ésta se abre de repente y una ráfaga de aire sale disparada hacia arriba. La tos despeja las vías respiratorias inferiores.
Estornudo	Parecido a la tos, excepto en que el aire expulsado es dirigido a través de cavidades nasales en lugar de a través de la cavidad bucal. La úvula, un trozo de tejido que cuelga del paladar blando, se hunde y cierra la cavidad oral desde la faringe, dirigiendo el aire por las cavidades nasales. Los estornudos despejan las vías respiratorias superiores.
Llanto	Inspiración seguida de una expulsión de aire en una serie de expiraciones cortas. Es, primordialmente, un mecanismo inducido por la emoción.
Risa	En esencia, es igual que el llanto en términos de los movimientos de aire producidos. También es una respuesta inducida emocionalmente.
Hipo	Inspiraciones repentinas como resultado de espasmos del diafragma. El hipo comienza debido a una irritación del diafragma o de los nervios frénicos, que son los que suministran inervación motora al diafragma. El sonido se produce cuando el aire inspirado choca contra los pliegues vocales o con la glotis cerrada.
Bostezo	Inspiración muy profunda que se realiza con las mandíbulas muy abiertas; ventila todos los alvéolos (lo cual no ocurre durante la respiración pausada normal).

motórax. El neumotórax se trata drenando aire desde el espacio intrapleural con tubos de drenaje torácicos, que permiten reinflarse al pulmón y recuperar su funcionalidad. ▲

Movimientos aéreos no respiratorios

Muchas situaciones distintas a la ventilación pulmonar movilizan aire dentro y fuera de los pulmones y modifican el ritmo respiratorio normal. La tos y los estornudos liberan las vías aéreas de detritus y acúmulos de moco. La risa y el llanto reflejan emociones. En su mayoría, estos **movimientos no respiratorios** son consecuencia de reflejos, pero algunos se producen de manera voluntaria. En la Tabla 13.1 se muestran los movimientos de este tipo más comunes.

Volúmenes y capacidades respiratorios

Hay muchos factores que afectan a la capacidad respiratoria, por ejemplo, la talla, el sexo, la edad y la condición física de una persona. La ventilación silenciosa normal mueve aproximadamente 500 ml de aire dentro y fuera de los pulmones en cada ciclo (véase la Figura 13.8b). Este volumen respiratorio se denomina **volumen corriente (TV).**

Como norma general, una persona *puede* inspirar mucho más aire que el volumen corriente durante un ciclo respiratorio normal. La cantidad de aire que de manera forzada puede superar al volumen corriente se denomina **volumen de reserva inspiratorio (IRV),** que normalmente se establece en torno a los 2.100 ml y los 3.200 ml.

De manera similar, tras una espiración normal se puede expulsar más aire. Esta cantidad de aire espirado extra, que se hace de manera forzada y supera al volumen corriente, es el **volumen de reserva espiratorio (ERV),** que se aproxima a los 1.200 ml.

Incluso después de la espiración más potente, alrededor de 1.200 ml de aire quedan aún en los pulmones, y no puede ser expulsado de forma voluntaria. Éste es el **volumen residual.** El volumen residual es importante porque permite continuar el intercambio gaseoso incluso entre ciclos respiratorios, ayudando a mantener abiertos los alvéolos.

La cantidad total de aire intercambiable ronda los 4.800 ml en un joven adulto sano, siendo esta capacidad respiratoria la **capacidad vital (VC).** La capacidad vital es la suma de TV + IRV + ERV. Los volúmenes respiratorios se muestran resumidos en la Figura 13.9.

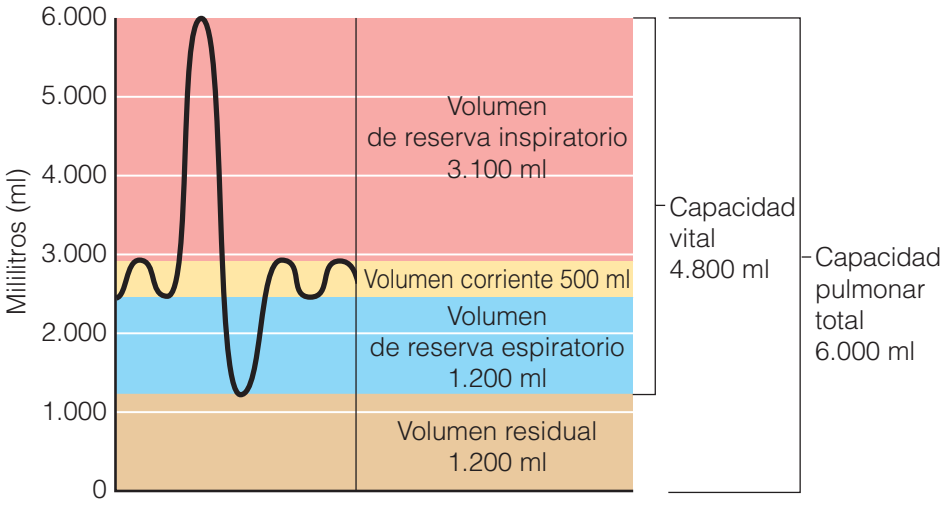


FIGURA 13.9 Trazado de los distintos volúmenes pulmonares de un joven adulto sano.

Como es lógico, gran parte del aire que entra en el aparato respiratorio se queda en las vías de conducción y nunca llega a los alvéolos. Este fenómeno se denomina **espacio muerto,** y durante un ciclo normal llega a ser de unos 150 ml. El volumen funcional, esto es, el que realmente llega al acino respiratorio y contribuye al intercambio gaseoso, es de unos 350 ml.

Las capacidades respiratorias se miden mediante un *espirómetro.* Mientras el sujeto respira, los volúmenes de aire espirado pueden leerse en un indicador que muestra los cambios del volumen aéreo que tienen lugar dentro del aparato. La espirometría es útil para evaluar pérdidas de la función respiratoria y para el seguimiento de algunas enfermedades del aparato respiratorio. En la neumonía, por ejemplo, la inspiración está obstruida, por lo que disminuyen el volumen de reserva inspiratorio y la capacidad vital. En el enfisema, donde está comprometida la espiración, el ERV es mucho menor de lo normal, y el volumen residual mayor.

Sonidos respiratorios

A medida que el aire entra y sale del árbol respiratorio produce dos sonidos reconocibles que pueden ser captados por un estetoscopio. Los **sonidos bronquiales** se producen por el roce del aire a lo largo de las vías respiratorias (tráquea y bronquios). El **murmullo vesicular** se produce cuando los alvéolos se llenan de aire. El murmullo vesicular es tenue y recuerda a una brisa suave.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El tejido respiratorio enfermo, mocos o pus pueden producir ruidos anormales tales como **crepitantes** (sonido burbujeante) y **sibilancias** (sonido silbante). ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

7. ¿Cuál es la principal función de la respiración?
8. ¿Qué hace que el aire salga de los pulmones durante la espiración?
9. De los siguientes, ¿cuál es el mayor volumen respiratorio: ERV, IRV, TV o VC? ¿Y el menor?
10. El espacio muerto supone alrededor de 150 ml del volumen corriente. ¿Qué porción del volumen corriente es la que alcanza los alvéolos para realizar el intercambio gaseoso?
11. Jaime se rompió una costilla del lado izquierdo debido a una caída en bicicleta. Se perforó el hemitórax izquierdo. ¿Qué le pasó a su pulmón izquierdo? ¿Por qué?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Respiración externa, transporte de gases y respiración interna

Tal y como se ha explicado previamente, la *respiración externa* es el intercambio real de gases entre los alvéolos y la sangre (intercambio gaseoso pulmonar), y la

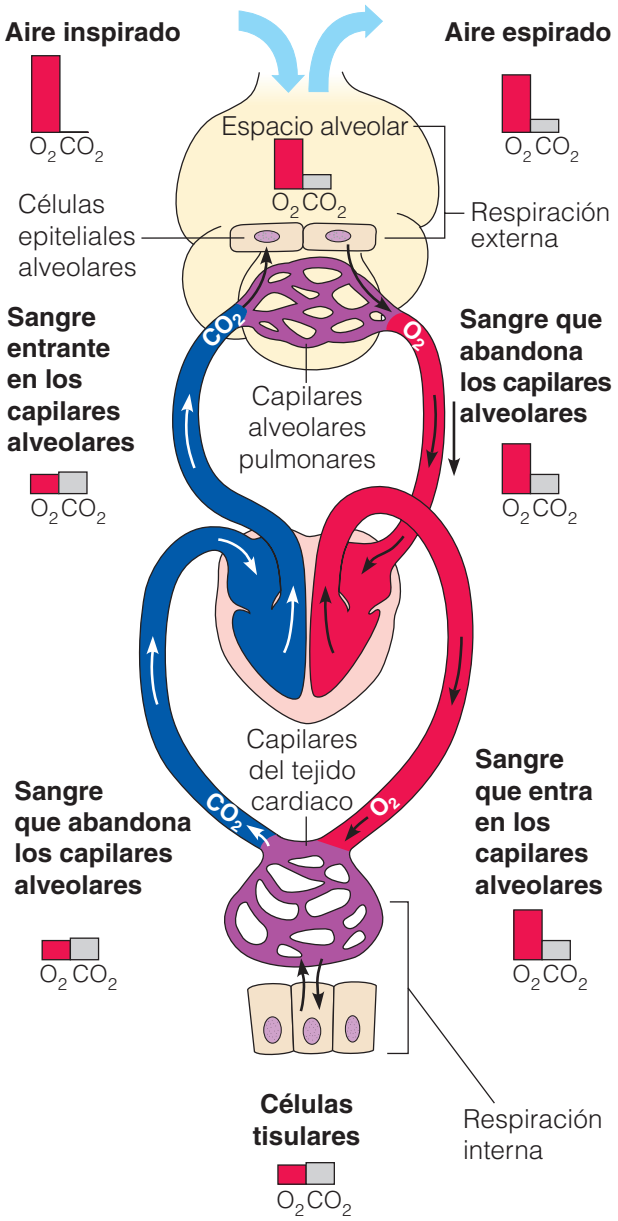


FIGURA 13.10 **El intercambio gaseoso que tiene lugar en el organismo sigue las leyes de la difusión.**

respiración interna es el intercambio gaseoso que se produce entre los capilares sistémicos y las células de los tejidos. Es importante recordar que los intercambios gaseosos se hacen de acuerdo con las leyes de la difusión: esto es, el desplazamiento se produce *hacia* las áreas de menor concentración de la sustancia que difunde. La relación entre las cantidades de O_2 y CO_2 en los tejidos alveolares y en la sangre arterial y venosa se muestra en la Figura 13.10.

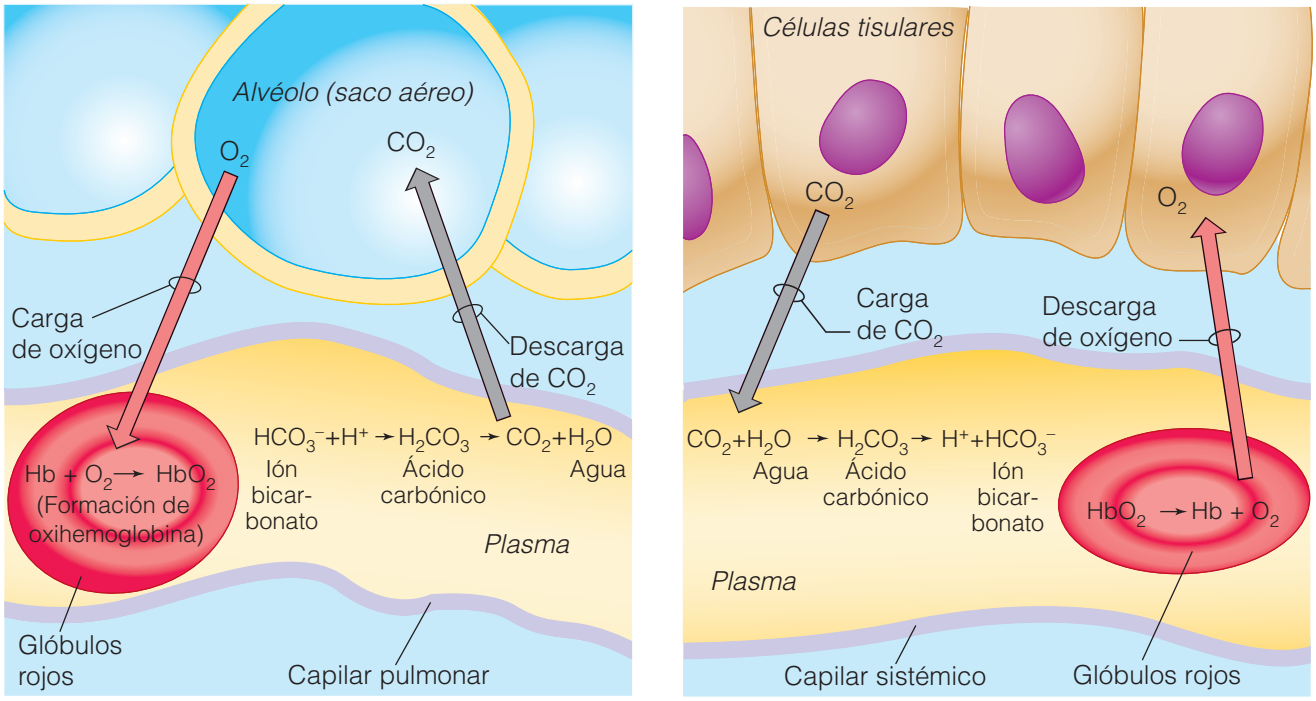
Respiración externa

Durante la respiración externa, la sangre roja oscura que fluye a través de la circulación pulmonar se transforma en un río escarlata que regresa al corazón para ser distribuido a nivel sistémico. Aunque este cambio de color se debe a la captación de oxígeno pulmonar por la hemoglobina, se descarga dióxido de carbono de la sangre con la misma velocidad. Debido a que las células del cuerpo toman constantemente oxígeno de la sangre, siempre hay más oxígeno en los alvéolos que en la sangre. De este modo, el oxígeno tiende a moverse del aire alveolar hacia la sangre pobre en oxígeno de los capilares pulmonares atravesando la membrana alvéolo-capilar. Por otro lado, mientras las células tisulares extraen oxígeno de la sangre de la circulación sistémica, liberan dióxido de carbono a la sangre. Es por esto que la concentración de dióxido de carbono es mayor en los capilares pulmonares que en el aire alveolar. Se desplazará, por tanto, de la sangre a los alvéolos para luego ser expulsado durante la espiración. A grandes rasgos, la sangre que los pulmones drenan a las venas pulmonares es rica en oxígeno y pobre en dióxido de carbono y, por tanto, está lista para ser distribuida a nivel sistémico.

Transporte de gases en la sangre

El oxígeno se transporta en la sangre de dos maneras. La mayoría se une a moléculas de hemoglobina dentro de las células rojas sanguíneas (RBC) para formar **oxihemoglobina** (HbO_2 en la Figura 13.11a). Una pequeña cantidad de oxígeno se transporta disuelto en el plasma.

La mayoría del dióxido de carbono se transporta en plasma en forma de **ión bicarbonato** (HCO_3^-), que desempeña un papel muy importante como sistema tampón sanguíneo. (La transformación enzimática de dióxido de carbono en ión bicarbonato tiene lugar en el interior de las células rojas, luego, el ión bicarbonato recién formado sale disuelto al plasma). Una pequeña cantidad (entre el 20-30% del transporte de CO_2) es transportado por las RBC unido a la hemoglobina. El dióxido de carbono que viaja en el interior de los glóbulos rojos se une a la hemoglobina en un lugar diferente al que lo hace el oxígeno, por tanto, no interfiere en modo alguno en el transporte de oxígeno. Antes de que el dióxido de carbono pueda salir de la sangre y dirigirse a los alvéolos, debe primero liberarse de su forma de ión bicarbonato. Para que esto suceda, los iones bicarbonato entran en los glóbulos rojos, donde se combinan con iones de hidrógeno (H^+) para formar ácido carbónico (H_2CO_3). El ácido carbónico se disocia rápidamente para formar agua y dióxido de carbono, para luego difundir de la sangre a los alvéolos.



(a) Respiración externa en los pulmones (intercambio gaseoso pulmonar): el oxígeno se carga y el dióxido de carbono se descarga.

(b) Respiración interna en los tejidos del organismo (intercambio gaseoso capilar sistémico): el oxígeno se descarga y el dióxido de carbono se carga en la sangre.

FIGURA 13.11 Representación esquemática de la carga de oxígeno (O_2) y descarga del dióxido de carbono (CO_2) que se produce en el organismo. Observa que aunque en ella se muestra que la transformación de CO_2 en ión bicarbonato y la reacción inversa se producen en el plasma en (b), la mayoría de las transformaciones ocurren en los glóbulos rojos . Además, aunque no aparece ilustrado, parte del CO_2 se transporta en los glóbulos rojos unidos a la hemoglobina.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Transporte de oxígeno alterado: sea cual sea la causa, el transporte inadecuado de oxígeno hacia los tejidos se denomina **hipoxia.** Esta situación es fácil de reconocer en personas de piel clara porque su piel y mucosas adoptan un tono azulado (se tornan **cianóticos**). En individuos de piel oscura, este cambio de color es sólo evidente en las mucosas y el lecho ungueal. La hipoxia puede ser consecuencia de una anemia, enfermedad pulmonar o alteraciones o bloqueos a nivel circulatorio.

La **intoxicación por monóxido de carbono** representa un tipo único de hipoxia. El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro que compite fuertemente con el oxígeno por el mismo sitio de unión a la hemoglobina. Además, debido a que la hemoglobina tiene más afinidad por el CO que por el oxígeno, el monóxido de carbono es un competidor muy exitoso, más aún si entra en grandes cantidades o desplaza el oxígeno.

La intoxicación por monóxido de carbono es la principal causa de muerte en incendios. Es especialmente peligrosa porque mata a sus víctimas suave y silenciosamente. No produce los signos característicos de la hipoxia, que son cianosis y dificultad respiratoria. En su lugar, la víctima entra en un estado de confusión y presenta cefalea punzante. En algunos casos, la piel adquiere un color rojo cereza (el color del complejo CO-hemoglobina) que a menudo se interpreta como un rubor saludable. Los individuos con intoxicación por CO deben recibir oxígeno al cien por cien hasta que el CO sea eliminado del organismo. ▲

Respiración interna

La respiración interna, o intercambio de gases entre la sangre y las células de los tejidos, es lo contrario de lo que ocurre en los pulmones. Este proceso, en el cual el oxígeno se descarga y la sangre se carga de dióxido de carbono, se muestra en la Figura 13.11b. El dióxido de carbono se difunde saliendo de las células de los tejidos para pasar a la sangre, donde se combina con agua para formar ácido carbónico, que rápidamente libera iones bicarbonato. Como se apuntó con anterioridad, la mayor parte de la transformación de dióxido de carbono a ión bicarbonato se produce en el *interior* de los glóbulos rojos, donde está disponible una enzima especial (anhidrasa carbónica) que cataliza la reacción. Posteriormente, los iones bicarbonato pasan al plasma, el cual será su medio de transporte. Al mismo tiempo, el oxígeno se libera de la hemoglobina y sale rápidamente de la sangre para entrar en los tejidos.

Como resultado de este intercambio, la sangre venosa sistémica es mucho más pobre en oxígeno y rica en dióxido de carbono que la que abandona los pulmones.

Control de la respiración

Regulación neurológica: las bases del ritmo

Aunque la respiración parece muy sencilla, su control es sumamente complejo. Se tratarán únicamente los aspectos más básicos del control respiratorio. La actividad de los músculos respiratorios, el diafragma y los intercostales externos se regula a través de impulsos nerviosos transmitidos desde el cerebro por el **nervio frénico** y los nervios **intercostales.**

Los centros neurales que controlan las frecuencias respiratorias y su profundidad se localizan principalmente en el *bulbo* y la *protuberancia* (Figura 13.12). El bulbo, que sienta las bases del ritmo respiratorio, contiene un marcapasos, esto es, unas **células inspiratorias autoexcitables.** Cuando estas neuronas se activan, una ráfaga de impulsos viaja a lo largo de los nervios frénicos e intercostales para excitar el diafragma y los músculos intercostales externos, respectivamente. El bulbo también contiene un centro que inhibe el marcapasos de una manera rítmica. Los impulsos que van y vienen de los centros bulbares mantienen un rango de 12 a 15 respiraciones por minuto. Este rango respiratorio normal se denomina **eupnea.** Los centros pontinos parecen suavizar el ritmo básico de inspiración y espiración establecido por el bulbo.

Además, los bronquiolos y los alvéolos tienen receptores de estiramiento que responden a una superinflación extrema (que puede dañar los pulmones) mediante el inicio de reflejos protectores. En caso de superinflación, el nervio vago envía un impulso desde los receptores de estiramiento hacia el bulbo. De manera inmediata, acaba la inspiración y comienza la espiración.

Durante el ejercicio, respiramos más vigorosamente y en profundidad porque los centros del cerebro envían más impulsos a la musculatura respiratoria. Este patrón respiratorio se llama **hiperpnea.** Sin embargo, La *frecuencia* respiratoria no debe crecer de manera significativa con el ejercicio. Después de un ejercicio extenuante, la espiración se transforma en activa, y los músculos abdominales y cualquier otro músculo capaz de levantar las costillas se utilizan para ayudar a la espiración.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si los centros bulbares están suprimidos por completo (como en una sobredosis de hipnóticos, morfina o alcohol), la respiración se para totalmente y se produce el fallecimiento. ▲

Factores no neurales que influyen en la frecuencia y profundidad respiratoria

Factores físicos Aunque los centros respiratorios bulbares establecen el ritmo básico respiratorio, no hay duda de que factores físicos tales como el habla, la tos y el ejercicio pueden modificar tanto la frecuencia como la intensidad respiratoria. Ya se han examinado algunos de estos factores en el apartado anterior de movimientos aéreos no respiratorios. La elevación de la temperatura corporal provoca un incremento de la frecuencia respiratoria.

Voluntad (control consciente) Tenemos control consciente de nuestro patrón respiratorio de vez en cuando. Durante el canto y la deglución, el control de la respiración es muy importante, y con bastante frecuencia se corta la respiración durante cortos periodos de tiempo para nadar bajo el agua. Sin embargo, el control voluntario de la respiración es limitado, y los centros respiratorios simplemente ignoraran mensajes del córtex (deseos) cuando el aporte de oxígeno en la sangre baja y nuestro pH desciende. Lo que se necesita para poner a prueba esto es tratar de hablar con normalidad o cortar la respiración después de correr a un fuerte ritmo durante unos minutos. Simplemente no puede hacerse. Muchos niños pequeños tratan de manipular a sus padres cortando la respiración "para morirse". Incluso aunque esta amenaza provoca ansiedad en muchos padres, no es necesario preocuparse porque el control involuntario toma el control y la respiración normal se restaura.

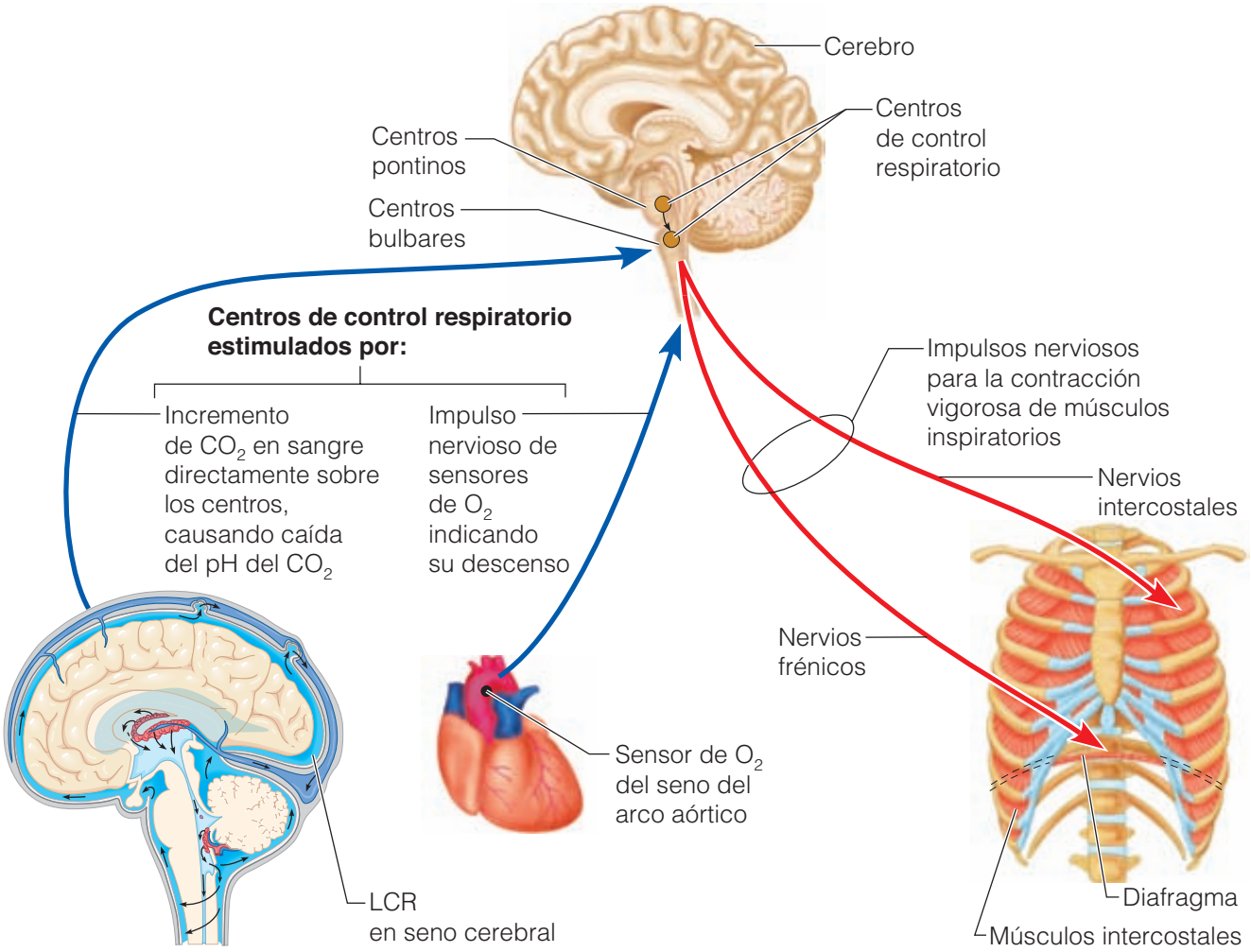


FIGURA 13.12 **Centros de control respiratorio, vías aferentes y nervios efectores.**

Factores emocionales Los factores emocionales también modifican la frecuencia e intensidad de la respiración. ¿Has visto alguna vez una película de terror que te haya hecho contener la respiración? ¿Te has asustado hasta el punto de jadear? ¿Has tocado alguna vez algo frío y húmedo y has resoplado por ello? Todo esto es consecuencia de reflejos iniciados por estímulos emocionales que actúan a través de los centros hipotalámicos.

Factores químicos Aunque hay muchos factores que pueden modificar la frecuencia respiratoria y su intensidad, los factores más importantes son los químicos: los niveles de dióxido de carbono y oxígeno en sangre. El aumento de los niveles de dióxido de carbono y el descenso del pH sanguíneo son los estímulos más importantes que producen un aumento de la frecuencia e intensidad respiratoria. (En realidad, un incremento en los niveles de dióxido de carbono y el descenso del pH sanguíneo son lo mismo en este caso, porque la retención de dióxido de carbono conlleva un aumento de los niveles de ácido carbónico, que hace descender el pH.) Los cambios en las concentraciones de dióxido de carbono en la sangre parecen actuar directamente sobre los centros bulbares influenciados por el pH del líquido cefalorraquídeo (CSF) (véase la Figura 13.12).

En cambio, las variaciones en las concentraciones de oxígeno en sangre se detectan a través de quimiorreceptores periféricos en torno a la aorta (cuerpos aórticos en el cayado aórtico) y en la bifurcación de la arteria carótida común (el seno carotídeo). Éstos, cuando procede, envían impulsos al bulbo cuando caen los niveles de oxígeno en la sangre. Aunque toda célula del cuerpo necesita oxígeno para vivir, es la necesidad del organismo de desprenderse del dióxido de carbono (no de

MÁS DE CERCA

EL CÁNCER DE PULMÓN: QUÉ SUCEDE TRAS LA CORTINA DE HUMO

El **cáncer de pulmón** representa un tercio de todas las muertes de cáncer en Estados Unidos, y aumenta día a día. En 2006 aparecieron 174.000 nuevos casos, y alrededor de 162.000 personas murieron a causa de esta enfermedad. Es el tipo de malignidad de más incidencia en ambos sexos. La mayoría de los tipos de cáncer son tremendamente agresivos y metastatizan rápida y extensamente. Tiene un índice de supervivencia especialmente bajo porque la mayoría de los casos no se pueden diagnosticar hasta que están muy avanzados. El porcentaje de supervivencia de cinco años a la enfermedad llega sólo a un 15%, y el promedio vive nueve meses después del diagnóstico. (Hasta hace muy poco tiempo no han aparecido tomografías computarizadas lo suficientemente buenas de todo el pulmón como para detectar los tumores en un estadio primario).

Los norteamericanos han sido especialmente inconscientes del vínculo entre el cáncer de pulmón y el cigarrillo durante años, y esto a pesar de que el 90% de los pacientes con cáncer de pulmón son fumadores. En la década de 1950 todavía atletas profesionales seguían anunciado cigarrillos, y éstos se presentaban como una forma inocua de mantener el peso "coge un cigarrillo antes que un caramelo". A finales de la década de 1960 fumar seguía siendo bien considerado socialmente, incluso romántico a pesar de generar mal aliento, dientes amarillos, producir arrugas en la piel y dejar residuos desagradables en la ropa y en el pelo de todas las personas expuestas al humo. El simple hecho de fumar un cigarrillo aumenta el ritmo cardiaco, constriñe los vasos sanguíneos periféricos de todo el cuerpo, perturba el flujo de aire en los pulmones y nos afecta el cerebro y el humor. Fumar durante mucho tiempo contribuye a la arteriosclerosis, cardiopatías, apoplejias, cataratas y la rápida aparición de la osteoporosis. Además, cada año se producen en Estados Unidos 3.000 casos de muerte por cáncer a causa de inhalar humo de los fumadores, y fumar parece estar vinculado también con las cardiopatías. Las personas más vulnerables son las que trabajan en bares y restaurantes.

Generalmente, el moco espeso y la acción de los cilios protegen de una forma efectiva a los pulmones de los irritantes químicos y biológicos, pero fumar rompe estas barreras de limpieza y termina por convertirlas en inoperantes. La irritación continua genera la producción de más mocos, pero fumar ralentiza el movimiento de los cilios que despejan este moco y deprime la actividad de los macrófagos del pulmón. Como resultado, se produce un estancamiento del moco en la parte inferior del árbol pulmonar y un aumento de la frecuencia de infecciones pulmonares, incluida la neumonía y la enfermedad obstructiva pulmonar crónica (EPOC). Sin embargo, es el "cóctel" de efectos irritantes como radicales libres, fuerte adicción a la nicotina y otros carcinógenos existentes en el humo del tabaco lo que conduce finalmente al cáncer de pulmón.

> *"La mayoría de los tipos de cáncer de pulmón son muy agresivos."*

Los tres tipos más comunes de cáncer de pulmón son: (1) **carcinoma de células escamosas** (25-30% de los casos), que surge en el epitelio de los bronquios principales y tiende a formar masas que producen cavernas y que sangran; (2) **adenocarcinoma** (40%), que se origina en las zonas periféricas del pulmón como nódulos aislados que se desarrollan a partir de glándulas de mocos bronquiales y células alveolares; (3) **carcinoma de células pequeñas** (15% pero aumentando rápidamente), que contiene células de tipo linfocito y que se origina en los bronquios principales, los cuales se convierten rápidamente en pequeños cúmulos de aspecto de uva dentro del mediastino, lugar en el que la metástasis es especialmente rápida.

El tratamiento más efectivo para el cáncer de pulmón es la extirpación del lóbulo pulmonar enfermo para detener la metástasis. No obstante, la extirpación es una opción limitada a muy pocos pacientes con cáncer de pulmón, puesto que la metástasis generalmente ya se ha producido en el momento del diagnóstico y las oportunidades de supervivencia son demasiado escasas como para justificar la cirugía. La terapia por radiación y la quimioterapia son las únicas opciones en la mayoría de los casos; sin embargo éstas son generalmente resistentes a estos tratamientos y sólo el car-

Fotografías: a la izquierda se observan los pulmones saludables de una persona no fumadora, y a la derecha, pulmones cancerosos de un fumador.

cinoma de pequeñas células responde a la quimioterapia, aunque con frecuencia recidiva y produce tumores cerebrales.

La extrema adicción a la nicotina del tabaco explicaría por qué alrededor de cincuenta millones de norteamericanos fuman a pesar de que se estima que el tabaco contribuye a una quinta parte de todas las muertes en Estados Unidos. Una reciente investigación indica sorprendentemente que la mayoría de los fumadores piensa que no tiene mayor riesgo de contraer cáncer de pulmón o cardiopatías. Por el contrario, una investigación que se ha llevado a cabo durante 40 años sobre cáncer de pulmón en británicos indica que la tasa de mortalidad en las personas de mediana edad (35-69) es tres veces mayor entre los fumadores que entre los no fumadores. La mitad de los fumadores habituales murió a causa de su hábito; sólo un 43% de los que fumaban alrededor de 25 cigarrillos al día llegó a los 70 años, mientras que los no fumadores alcanzaban el 79%. Afortunadamente, disminuye el número de gente joven, tanto en Gran Bretaña como en Estados Unidos, que comienza a fumar. Entre los estudiantes de instituto norteamericanos se llegó a un 36% en 1996, pero esta cifra ha bajado hasta un 22% en la actualidad.

La buena noticia es que dejar el tabaco ayuda: mientras que la incidencia de cáncer de pulmón es 20 veces mayor entre los fumadores que entre los no fumadores, este porcentaje baja hasta un 2,1% entre antiguos fumadores que no lo han hecho durante 15 años. Finalmente, el 48,8% de los adultos norteamericanos fumadores ha dejado de fumar. La utilización de tratamientos como parches de nicotina o *sprays* nasales inhalantes ha duplicado la tasa de éxito en el abandono del tabaco (de un 10% a un 20%). Dejar el tabaco es un valioso objetivo, tenlo en cuenta.

tomar oxígeno) el estímulo *más* importante para la respiración en una persona sana. El descenso en los niveles de oxígeno se convierte en un importante estímulo sólo cuando esos niveles caen peligrosamente.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En personas que retienen dióxido de carbono, como individuos con enfisema, bronquitis crónica u otras enfermedades pulmonares crónicas, el cerebro ya no reconoce como importantes estos incrementos en los niveles de dióxido de carbono. En tales casos, la caída de los niveles de oxígeno se convierte en el estímulo respiratorio. Esto es un hecho interesante ya que explica por qué estos pacientes tienen siempre niveles bajos de oxígeno. Si los niveles fuesen altos, dejarían de respirar debido a que su estímulo respiratorio (niveles bajos de oxígeno) habría cesado. ▲

Los mecanismos homeostáticos del aparato respiratorio, en individuos sanos, son obvios. Cuando el dióxido de carbono u otras fuentes de ácidos comienzan a acumularse en la sangre y el pH sanguíneo empieza a caer, se respira más rápido e intensamente. Este patrón respiratorio, llamado **hiperventilación,** es distinto de la hiperpnea del ejercicio. La hiperventilación expulsa más dióxido de carbono y desciende la cantidad de ácido carbónico, que devuelve a la sangre su pH habitual. Por otra parte, cuando la sangre comienza a volverse alcalina o básica (por cualquier motivo), la respiración se ralentiza y se torna más superficial. La respiración más lenta permite al dióxido de carbono acumularse en la sangre y devolver ésta su rango normal de pH. Efectivamente, el control de la respiración durante el descanso va dirigido, en primer lugar, a la regulación del nivel de hidrogeniones en el cerebro. La *hipoventilación* (respiración extremadamente lenta o superficial) o la *hiperventilación* pueden cambiar de manera drástica el nivel de ácido carbónico en sangre. El ácido carbónico aumenta considerablemente durante la hipoventilación y desciende de forma sustancial durante la hiperventilación. En ambas situaciones la capacidad tampón de la sangre está al borde de ser superada; el resultado es *acidosis* o *alcalosis*.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La hiperventilación, a menudo provocada por ataques de ansiedad, conduce frecuentemente a breves periodos de **apnea,** cese de respiración, hasta que el dióxido de carbono se restaura en la sangre. Si la respiración se para durante un largo periodo de tiempo, la **cianosis** puede aparecer como resultado de déficit de oxígeno en sangre. Además, la persona que hiperventila puede marearse y desmayarse a causa de la alcalosis, que provoca vasoconstricción a nivel cerebral. Tales ataques pueden prevenirse colocando al individuo que hiperventila una bolsa de papel en la cabeza. Debido a que el aire espirado contiene más dióxido de carbono que el aire atmosférico, esto altera el gradiente de difusión normal que provoca que el dióxido de carbono se descargue de la sangre para abandonar el organismo. Como resultado, el dióxido de carbono (y, por tanto, el ácido carbónico) comienza a aumentar en sangre, finalizando la alcalosis. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

12. ¿Qué tipo de transporte celular mueve los gases respiratorios entre la sangre y las células del cuerpo?
13. ¿Cuál es el mecanismo principal de transporte del dióxido de carbono en la sangre?
14. ¿Qué es la cianosis?
15. ¿Cuál es el área del cerebro más importante en el establecimiento de la frecuencia respiratoria?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Enfermedades respiratorias

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El aparato respiratorio es especialmente vulnerable a infecciones porque está abierto a patógenos aéreos. Ya se han tratado algunas de estas formas inflamatorias, como la rinitis y la amigdalitis; ahora centraremos nuestra atención en las enfermedades respiratorias más discapacitantes, el grupo de enfermedades colectivamente denominadas *enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)* y *cáncer de pulmón*. Estas patologías son consecuencia de los efectos devastadores del tabaco en el organismo. Ya conocido su efecto a nivel cardiovascular, el tabaco es quizás más destructivo a nivel pulmonar. Las fotografías de la sección "Más de cerca", en las páginas 458 y 459, donde se trata el cáncer de pulmón, comparan unos pulmones normales con los pulmones ennegrecidos e invadidos por cáncer de un fumador.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC)

Las **enfermedades pulmonares obstructivas crónicas,** ejemplificadas por *bronquitis crónica* y *enfisema*, son la principal causa de muerte e incapacidad en Estados Unidos. Estas enfermedades tienen algunos aspectos en común: (1) los pacientes casi siempre tienen antecedentes de tabaquismo; (2) **disnea,** dificultad respiratoria o trabajosa, a menudo denominada "hambre de aire", ocurre y se convierte progresivamente en más intensa; (3) tos y frecuentes infecciones pulmonares, que ocurren de forma habitual; (4) la mayoría de las víctimas de EPOC están hipóxicas, retienen dióxido de carbono y tienen acidosis respiratorias y finalmente desarro-

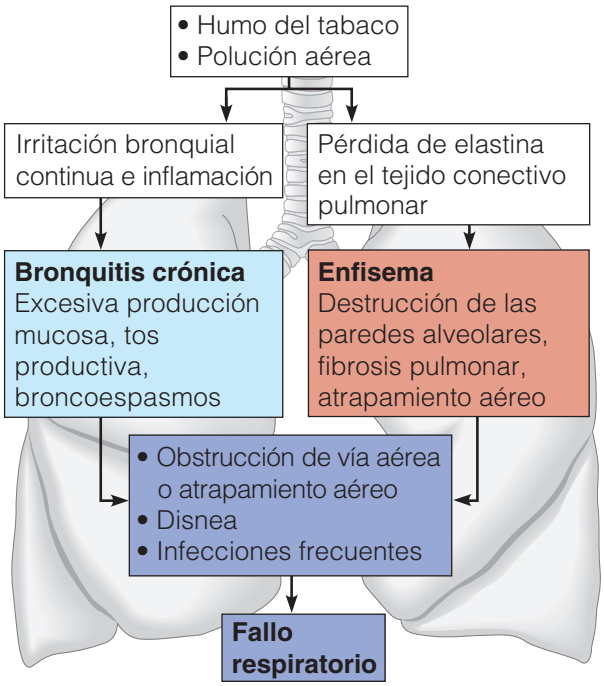


FIGURA 13.13 **Patogenia de la EPOC.**

llan fallo respiratorio (Figura 13.13).

En la **bronquitis crónica,** la mucosa de las vías respiratorias inferiores se inflama de forma considerable y produce cantidades excesivas de moco. Las agrupaciones mucosas impiden la ventilación y el intercambio gaseoso, y aumentan de manera drástica el riesgo de infecciones pulmonares, incluyendo las neumonías. Los pacientes con bronquitis crónica se denominan algunas veces "congestivos azulados" porque la hipoxia y la retención de carbónico ocurren de manera temprana en esta enfermedad, siendo común la cianosis.

En el **enfisema,** el alvéolo se agranda a la vez que las paredes de las cámaras adyacentes se rompen, y la inflamación crónica de los pulmones da lugar a fibrosis. Como los pulmones se vuelven menos elásticos, el aire se colapsa durante la espiración, obstruyéndose el flujo saliente de aire. Como resultado, estos pacientes utilizan una enorme cantidad de energía para espirar y siempre están exhaustos. Debido a que el aire se retiene en los pulmones, el intercambio de oxígeno es sorprendentemente eficiente, y la cianosis no suele aparecer hasta estadios tardíos de la enfermedad. Consecuentemente, a los pacientes con enfisema se les denomina "resopladores rosados". Sin embargo, la hiperinsuflación pulmonar conduce a los pulmones a estar constantemente expandidos y da lugar al tórax en tonel. ▲

Formación y desarrollo del aparato respiratorio

En el feto, los pulmones están llenos de líquido y el intercambio respiratorio se realiza a través de la placenta. Durante el nacimiento se drena el líquido y las vías aéreas se llenan de aire. Los alvéolos se inflan y comienza el intercambio gaseoso, pero los pulmones no se inflan completamente hasta que pasan dos semanas. El éxito de este cambio (paso de pulmones no funcionantes a funcionantes) depende de la presencia de **surfactante,** una molécula lipídica sintetizada por células cuboides de los alvéolos (véase la Figura 13.6). El surfactante disminuye la tensión superficial de la lámina de agua que tapiza cada saco alveolar para que así los alvéolos no se colapsen entre cada ciclo. El surfactante no está presente en las cantidades suficientes para el desarrollo de su función hasta estadios finales del embarazo, entre las semanas 28 y 30.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Los bebés prematuros (antes de la semana 28) o cuya producción de surfactante haya sido inadecuada por cualquier otro motivo (como muchos hijos de madres diabéticas), sufren **distrés respiratorio del recien nacido (IRDS).** Estos niños tienen disnea en las primeras horas tras el nacimiento, y necesitan grandes cantidades de energía para mantener inflados los alvéolos. A pesar de que el IRDS provoca la muerte de más de 20.000 recién nacidos cada año, muchos de estos bebés sobreviven en la actualidad por el uso cotidiano de equipamiento que aporta presión positiva continuamente y mantiene los alvéolos abiertos y trabajando en el intercambio gaseoso, hasta que la maduración pulmonar produzca adecuada cantidad de surfactante.

La fisura palatina y la fibrosis quística son importantes alteraciones congénitas del aparato respiratorio. La **fibrosis quística (CF),** el defecto genético más letal en Estados Unidos, afecta a 1 de cada 2.400 nacimientos, y todos los días mueren dos niños por este trastorno. La CF provoca una hipersecreción de moco espeso que tapona la vía aérea y expone al sujeto a un riesgo importante de padecer infecciones respiratorias mortales. También afecta a otros procesos de secreción de sustancias; el más importante, el hecho de dificultar la digestión mediante el atasco del conducto pancreático que secreta enzimas pancreáticas y bilis al intestino delgado. Además, las glándulas sudoríparas producen una sudoración extremadamente salada. En el corazón de la CF está un gen fallido que codifica la proteína CFTR, que funciona como canal de cloro para controlar su flujo dentro y fuera de la célula. En las personas con la mutación, la CFTR se queda "atascada" en el retículo endoplásmatico y es incapaz de alcanzar la membrana plasmática para desempeñar su papel habitual. Consecuente-

orientación PROFESIONAL

AUXILIAR DE ENFERMERÍA (AE)

Conocimientos de anatomía y fisiología ayudan a los AE en el cuidado de sus pacientes

En un principio, el término *auxiliar de enfermería* se utilizaba para describir a los trabajadores de la salud que iban a las casas para

proporcionar cuidados de enfermería. Algunos auxiliares de enfermería todavía proporcionan cuidados en los hogares de sus pacientes, pero otros desempeñan un importante papel en hospitales, consultas de médicos y en clínicas de Atención Primaria.

Linda Dávila, una AE que trabaja en el *Stein Hospice* en Sandusky (Ohio), está especializada en cuidados de enfermos terminales: "La mayoría de nuestros pacientes, tal vez un 60%, tiene cáncer", dice; "otros tienen enfermedades mortales de los riñones, pulmones, corazón o tienen sida". A la mayoría de los pacientes de la residencia de enfermos terminales se les ha pronosticado seis meses de vida o menos y han elegido someterse a tratamientos médicos agresivos. "Mi trabajo consiste en ayudarles para que el tiempo que les queda lo pasen de la mejor forma y con el mínimo dolor posible, y al mismo tiempo mantener cierta calidad de vida para ellos y sus familiares".

Los cuidados en la residencia son de un carácter multidisciplinar para ayudar a los pacientes a sobrellevar diversos problemas de índole física o emocional. El equipo de Dávila incluye trabajadores sociales, consejeros espirituales, enfermeras tituladas y otros auxiliares de enfermería. Dávila explica: "Yo proporciono cuidados personales a nuestros pacientes, ayudándoles con la limpieza y arreglo personal, así como con el control de su medicación. También trabajo cerca de las familias y les enseño a cuidar a los pacientes: cómo vaciar la bolsa del catéter, bañarle en la cama y cambiar las sábanas a alguien que está postrado en ella".

Las habilidades clínicas de Dávila y sus conocimientos anatómico-fisiológicos le permiten seguir de cerca el estado del paciente y avisar de cualquier cambio a los miembros del equipo médico. Indica además que "los pacientes de la residencia toman muchas medicinas, incluidos narcóticos, que ralentizan el proceso digestivo y pueden causar estreñimiento. Controlo los efectos secundarios en los pacientes e informo de cualquier síntoma a la enfermera titulada de mi equipo para que ella pueda ajustar la medicación".

Respecto a los pacientes con cáncer, puede calibrar la extensión de la enfermedad y reconocer cuándo ésta se expande. "En clase aprendimos que muchos tipos de cáncer se extienden al hueso; algunas veces los pacientes se quejan de dolores repentinos en las costillas, lo cual podía indicar que el cáncer ha progresado". En los casos de pacientes con cáncer de pulmón, Dávila controla las dificultades de la respiración, el rubor en la piel y en las uñas y la confusión mental –signos de reducción de oxígeno–, que indicarían que el cáncer está dañando la función pulmonar; ella avisa rápidamente a los miembros del equipo para que inicien el tratamiento apropiado.

La preparación del AE consiste en un programa estructurado en escuelas reconocidas por el Estado. Los solicitantes deben poseer un diploma de educación secundaria, bachillerato o equivalente y aprobar un examen de admisión. Generalmente se trata de un programa de un año que incluye anatomía y fisiología, así como matemáticas y otros temas de formación general.

> *"La preparación en anatomía y fisiología de Dávila le permite realizar un buen seguimiento de sus pacientes".*

Tras su graduación, el AE debe aprobar también un examen a nivel estatal y obtener créditos educativos para poder conservar su titulación. Estos procedimientos acreditativos varían según el Estado. Para una mayor información sobre esta titulación en auxiliar de enfermería y sobre los requisitos de las pruebas, se puede contactar con:

National League for Nursing
61 Broadway, 33rd Floor
New York, New York 10006
(800) 669-1656

Para más información acceda a la dirección www.anatomyandphysiology.com

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA RESPIRATORIO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*

Sistema endocrino

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono.
- La adrenalina dilata los bronquiolos; la testosterona promueve el crecimiento laríngeo en varones adolescentes.

Sistema linfático/inmunitario

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno, elimina dióxido de carbono; las amígdalas faríngeas albergan células de la inmunidad.
- El sistema linfático ayuda a mantener el volumen sanguíneo necesario para el transporte de gases respiratorios; el sistema inmunitario protege los órganos respiratorios de patógenos y cáncer.

Aparato digestivo

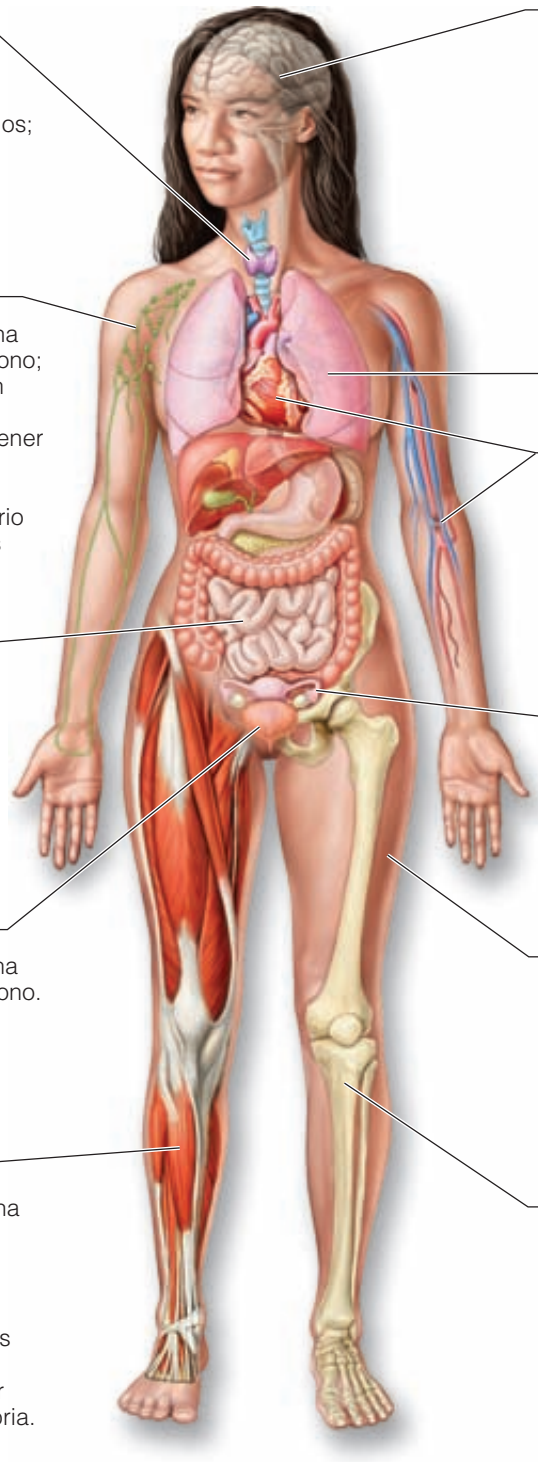
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono.
- El aparato digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el aparato respiratorio.

Aparato urinario

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono.
- Los riñones eliminan desechos metabólicos de los órganos del aparato respiratorio (distintos al dióxido de carbono).

Sistema muscular

- El sistema respiratorio proporciona el oxígeno necesario para la actividad muscular; elimina dióxido de carbono.
- El diafragma y los músculos intercostales dan lugar a cambios de volumen necesarios para la respiración; el ejercicio regular incrementa la eficiencia respiratoria.



Sistema nervioso

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno necesario para la actividad neuronal normal; elimina dióxido de carbono.
- Los centros bulbares y pontinos regulan la frecuencia y profundidad respiratoria; los receptores de distensión pulmonares y los quimiorreceptores de grandes arterias realizan una retroalimentación.

Sistema respiratorio

Sistema cardiovascular

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono; el dióxido de carbono presente en sangre en forma de HCO_3^- y H_2CO_3 contribuye al taponamiento de la sangre.
- La sangre transporta los gases respiratorios.

Aparato reproductor

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono.

Piel, anejos y tejido conectivo

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono.
- La piel protege a los órganos del sistema respiratorio mediante la formación de barreras superficiales.

Sistema esquelético

- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina dióxido de carbono.
- Los huesos encierran y protegen los pulmones y bronquios.

mente, se secreta menos cloro que es seguido de menos agua, dando lugar a un moco espeso típico de la fibrosis quística. La terapia convencional para la fibrosis quística son mucolíticos, golpear el pecho suavemente para hacer menos espeso el moco y antibióticos para prevenir la infección. ▲

La frecuencia respiratoria es la más alta en recién nacidos, en torno a 40-80 respiraciones por minuto. Va cayendo conforme avanza la edad: en el niño está en torno a 30 por minuto, a los 5 años sobre los 25 por minuto, y en adultos entre 12 y 18 por minuto. Sin embargo, la frecuencia a menudo vuelve a incrementarse en la tercera edad, los pulmones continúan su maduración durante la infancia formándose más alvéolos hasta la primera etapa adulta. Sin embargo, en las personas que comienzan a fumar durante la adolescencia temprana, los pulmones no completan jamás su maduración, y estos alvéolos adicionales se pierden para siempre.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El **síndrome de muerte súbita del lactante (SIDS)** afecta a muchos recién nacidos. Niños aparentemente sanos dejan de respirar y mueren durante el sueño, dejando en ocasiones a sus padres la angustia de enfrentarse a cargos de abuso de menores. Aunque se cree que algunos casos se deben a un fallo en el control neural de la respiración o a una infección viral, más de un tercio de los casos de SIDS son el resultado de arritmias cardiacas. Investigaciones recientes indican que puede estar relacionado con un componente genético. ▲

Excepto por la tos, los estornudos (respuesta a irritantes) y el resfriado ocasional común que bloquea la vía aérea superior con moco, el aparato respiratorio funciona tan suave y eficientemente que no nos damos cuenta de que está en funcionamiento.

La mayoría de los problemas son consecuencia de factores externos, por ejemplo: obstrucción de la tráquea por un fragmento de alimento, o aspiración de partículas alimenticias o vómitos (que provocan neumonía por aspiración). Algunos individuos desafortunados sufren **asma,** provocada por inflamación crónica, hiperreactividad bronquial que responde a diversos irritantes (como partículas de polvo y deposiciones de cucarachas, pelos, escamas o restos de plumas de animales, y hongos) con disnea, tos y sibilancias.

Durante muchos años, la tuberculosis y la neumonía fueron las peores asesinas en Estados Unidos. Los antibióticos han disminuido en gran medida su letal amenaza, pero aún son enfermedades peligrosas. El diagnóstico *de novo* y los frecuentes casos de resistencia a fármacos antituberculosos en pacientes con sida están aumentando debido a saltos y uniones a lo largo del mundo, pero en "el presente" las enfermedades respiratorias más dañinas e incapacitantes son aún las descritas con anterioridad: la EPOC y el cáncer de pulmón.

A medida que envejecemos, las paredes del tórax se hacen más rígidas y los pulmones empiezan a perder su elasticidad, dando como resultado un lento descenso de la capacidad ventilatoria pulmonar. La capacidad vital disminuye alrededor de un tercio a los 70 años. Además, los niveles de oxígeno en sangre disminuyen y la sensibilidad a los efectos estimulantes del dióxido de carbono desciende, particularmente en decúbito supino. Como consecuencia, muchas personas mayores tienden a la hipoxia durante el sueño y muestran **apnea del sueño.**

Además, muchos de los mecanismos protectores del aparato respiratorio se vuelven menos eficientes con la edad. La actividad ciliar de la mucosa disminuye, y los fagocitos de los pulmones se vuelven vagos. El resultado es que el envejecimiento poblacional supone un riesgo para infecciones del aparato respiratorio, particularmente neumonía y gripe.

¿LO HAS ENTENDIDO?

16. Alberto, un fumador, visita al doctor porque tiene tos persistente y le falta la respiración después de pequeños esfuerzos. Tiene tórax en tonel y explica que le cuesta espirar. ¿Qué diagnóstico hará el doctor?
17. ¿Qué ocurre a los alvéolos si no se produce surfactante en un recién nacido? ¿Cómo se llama esta enfermedad?
18. ¿Cuáles son los tres factores más habituales que causan el SIDS?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se presentan unas herramientas de estudio interactivo que sirven a modo de repaso adicional de los temas clave del Capítulo 13.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Anatomía funcional del aparato respiratorio (págs. 441-448)

1. La cavidad nasal, la cámara que está en el interior de la nariz, está dividida en la línea media por el tabique nasal y separada de la cavidad oral por el paladar. La cavidad nasal está tapizada por una mucosa que calienta, filtra y humedece el aire entrante. La mucosa contiene además receptores sensitivos olfatorios. Los senos paranasales y los conductos lacrimonasales drenan en la cavidad nasal.
2. La faringe (garganta) es un tubo muscular tapizado por mucosa con tres regiones: nasofaringe, orofaringe y laringofaringe. La función de la nasofaringe es exclusivamente respiratoria, las otras comparten funciones respiratorias y digestivas. La faringe contiene amígdalas, que actúan como sistemas defensivos del organismo.
3. La laringe es una estructura cartilaginosa cuya porción más prominente es el cartílago tiroides (nuez). La laringe conecta la faringe con la tráquea. La apertura laríngea (glotis) está protegida por la epiglotis, que previene la entrada de comida o bebida en el interior de la vía aérea durante la deglución. La laringe contiene pliegues vocales (cuerdas vocales verdaderas) que producen los sonidos que constituyen el habla.
4. La tráquea (tubo aéreo) se extiende desde la laringe al bronquio principal. La tráquea es un tubo de músculo liso tapizado por una mucosa ciliada y reforzado con anillos cartilaginosos con forma de "C", que mantienen la tráquea firme.
5. Los bronquios principales derecho e izquierdo resultan de la subdivisión de la tráquea. Ambos penetran en el hilio pulmonar de su lado correspondiente.
6. Los pulmones son órganos pares que flanquean el mediastino dentro de la cavidad torácica. Los pulmones están cubiertos de pleura pulmonar (visceral); la pared torácica está tapizada por pleura parietal. Las secreciones pleurales disminuyen la fricción durante la respiración. Los pulmones son principalmente tejido elástico y vías del árbol respiratorio. Las vías menores desembocan en racimos de alvéolos.
7. La zona de conducción incluye todas las vías respiratorias desde la cavidad nasal hasta los bronquiolos terminales; conducen el aire dentro y fuera de los pulmones. Los bronquiolos respiratorios, conductos alveolares y sacos y alvéolos –que tienen paredes delgadas donde se realiza el intercambio gaseoso con la sangre de los capilares pulmonares– son estructuras respiratorias.

WEB Actividad: Chapter 13, Anatomy of the Upper Respiratory Tract.

IP Respiratory System Topic: Anatomy Review: Respiratory Structures, pages 3-12.

Fisiología respiratoria (págs. 448-460)

1. Mecánica de la ventilación: el gas viaja desde la zona de alta presión hasta las zonas de baja presión. La presión fuera del cuerpo es la atmosférica; la presión dentro de los pulmones es la presión intrapulmonar; la presión dentro del espacio pleural es la intrapleural (que siempre es negativa). El movimiento de aire dentro y fuera de los pulmones se llama ventilación. Cuando los músculos inspiratorios se contraen, el volumen intrapulmonar aumenta, la presión disminuye y el aire se apresura a entrar (inspiración). Cuando los músculos inspiratorios se relajan, los pulmones se retraen y el aire sale (espiración). La expansión de los pulmones se ve ayudada por la cohesión entre las hojas pleurales y por la presencia de surfactante en el alvéolo.

   IP Respiratory System Topic: Pulmonary Ventilation, pages 3-10.
2. Movimientos aéreos no respiratorios: los movimientos aéreos no respiratorios son voluntarios o actividades reflejas que movilizan el aire dentro o fuera de los pulmones. Se incluyen tos, estornudos, risa, llanto, hipo, bostezo, etc.
3. Volúmenes y capacidades respiratorias: los volúmenes aéreos que cambian durante la ventilación son TV, IRV, ERV y VC (véase la página 453 para consultar los valores). El volumen residual es un volumen que no cambia y que permite un intercambio gaseoso continuo.
4. Sonidos respiratorios: los sonidos bronquiales son sonidos que produce el aire a su paso por las vías respiratorias mayores. El murmullo vesicular se produce cuando el aire llena los alvéolos.
5. Respiración externa, transporte de gases y respiración interna: los gases se mueven de acuerdo con las leyes de la difusión. El oxígeno se mueve del aire alveolar hacia la sangre pulmonar. La mayoría del oxígeno se transporta unido a la hemoglobina dentro de los glóbulos rojos. El dióxido de carbono se mueve desde la sangre pulmonar hacia el aire alveolar. La mayoría del dióxido de carbono se transporta en forma de ión bicarbonato en plasma. En los tejidos orgánicos, el oxígeno se mueve de la sangre a los tejidos, mientras que el dióxido de carbono lo hace de los tejidos a la sangre.

   WEB Actividad: Chapter 13, Gas Transport.

   IP IP Respiratory System Topic: Gas Transport, pages 3-12.
6. Control de la respiración
   a. Control nervioso: los centros neurales del control de la frecuencia respiratoria están en el bulbo y en la protuberancia. El bulbo es el "marcapasos". El arco reflejo que se inicia con el estímulo de los receptores

de estiramiento pulmonares desempeña también un papel en la respiración al informar al control de la respiración.

b. Factores físicos: incremento de la temperatura corporal, ejercicio, habla, canto y movimientos aéreos no respiratorios modifican tanto la frecuencia como la profundidad respiratoria.

c. Voluntad. Hasta cierto punto, la respiración puede controlarse conscientemente si no interfiere con la homeostasis.

d. Factores emocionales: algunos estímulos emocionales pueden modificar la respiración. Por ejemplo, el miedo, la ira, la excitación, etc.

e. Factores químicos: los cambios en los niveles de dióxido de carbono en sangre son el estímulo más importante que afecta a la frecuencia y profundidad respiratorias. El dióxido de carbono actúa directamente sobre el bulbo mediante la reducción del pH sanguíneo y del líquido cefalorraquídeo. Los niveles crecientes de los niveles de dióxido de carbono en sangre dan como resultado una respiración más rápida y profunda. El descenso de los niveles lleva a una respiración lenta y superficial. La hiperventilación puede provocar apnea y mareos, debido a la alcalosis. El oxígeno, controlado por quimiorreceptores periféricos, es un estímulo respiratorio menos importante en personas sanas. *Es* el estímulo para personas cuyos sistemas se han acostumbrado a altos niveles de dióxido de carbono consecuencia de su enfermedad.

Enfermedades del aparato respiratorio (págs. 460-461)

1. Las enfermedades respiratorias principales son la EPOC (enfisema y bronquitis crónica) y el cáncer de pulmón. Una causa significativa es el consumo de tabaco.
2. El enfisema se caracteriza por el aumento de tamaño y destrucción de los alvéolos. Los pulmones pierden su elasticidad, convirtiéndose la espiración en un proceso activo.
3. La bronquitis crónica se caracteriza por una excesiva producción de moco y su acumulación en las vías respiratorias inferiores, produciéndose un importante desajuste de la ventilación y del intercambio gaseoso. Los pacientes se vuelven cianóticos como consecuencia de la hipoxia crónica.
4. El cáncer de pulmón es muy agresivo y metastatiza rápidamente. Los tres tipos de cáncer más comunes son el de células escamosas, el adenocarcinoma y el carcinoma de células pequeñas.

Formación y desarrollo del aparato respiratorio (págs. 461, 464)

1. Los recién nacidos prematuros tienen problemas para mantener sus pulmones insuflados debido a la carencia de surfactante en los alvéolos. El surfactante se forma en los estadios finales del embarazo.
2. Los defectos congénitos más importantes del aparato respiratorio son la fisura palatina y la fibrosis quística.
3. Los pulmones continúan madurando hasta estadios iniciales de la edad adulta.
4. Durante la juventud y la mediana edad, la mayoría de los problemas respiratorios son consecuencia de factores externos, tales como infecciones y sustancias que bloquean físicamente las vías respiratorias.
5. En la tercera edad, el tórax se vuelve más rígido y los pulmones menos elásticos, conllevando un descenso de la capacidad vital. Los mecanismos protectores del aparato respiratorio disminuyen su efectividad en personas de edad avanzada, predisponiéndolas a infecciones del aparato respiratorio.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. En la espiración, ¿cuál es la secuencia de paso del aire a través de las vías respiratorias?
   a. Alvéolos, bronquiolos, bronquios, laringe, tráquea, faringe, cavidad nasal.
   b. Alvéolos, tráquea, bronquios, bronquiolos, laringe, faringe y cavidad nasal.
   c. Alvéolos, bronquios, bronquiolos, tráquea, laringe, faringe, cavidad nasal.
   d. Alvéolos, bronquiolos, bronquios, tráquea, laringe, faringe y cavidad nasal.
2. En la inspiración, el diafragma:
   a. se relaja y desciende.
   b. se relaja y asciende.
   c. se contrae y asciende.
   d. se contrae y desciende.
3. Durante la inspiración, la presión intrapulmonar es:
   a. mayor que la atmosférica.
   b. menor que la atmosférica.
   c. mayor que la presión intrapleural.
   d. menor que la presión intrapleural.
4. La atelectasia pulmonar se previene mediante:
   a. alta tensión superficial del fluido alveolar.
   b. adhesión de membranas pleurales.
   c. alta presión en las cavidades pleurales.
   d. alta elasticidad del tejido pulmonar.
5. La enfermedades clasificadas como EPOC incluyen:
   a. neumonía.
   b. enfisema.
   c. bronquitis.
   d. apnea del sueño.

6. ¿Cuál de los siguientes cambios acompaña a la pérdida de elasticidad pulmonar asociada a la edad?
   a. incremento del volumen corriente.
   b. incremento del volumen de reserva inspiratorio.
   c. incremento del volumen residual.
   d. incremento de la capacidad vital.
7. ¿Cuál de los siguientes no forma parte de la zona de conducción del aparato respiratorio?
   a. Faringe.
   b. Saco alveolar.
   c. Tráquea.
   d. Bronquiolos secundarios.
   e. Laringe.

Respuesta breve

8. Explica con claridad la diferencia entre respiración externa e interna.
9. Traza la ruta que sigue el aire desde las narinas a los alvéolos.
10. ¿Por qué es importante que la tráquea esté reforzada por anillos cartilaginosos? ¿Qué ventaja supone que no exista refuerzo en la zona posterior?
11. ¿En qué parte del aparato respiratorio se filtra, humedece y se calienta el aire?
12. La tráquea tiene células caliciformes que producen moco. ¿Cuál es la función protectora específica del moco?
13. En términos de salud general, ¿cuál es la importancia de que las trompas de Eustaquio y los senos paranasales drenen a la cavidad nasal y a la nasofaringe?
14. ¿Qué característica de la estructura del alvéolo les hace ideales para el intercambio gaseoso?
15. ¿Qué significan las siglas TV, ERV y VC?
16. Cita los distintos movimientos aéreos no respiratorios y explica las diferencias de cada uno con la respiración.
17. La contracción del diafragma y de los músculos intercostales externos hace que comience la inspiración. ¿Qué cambios de presión y volumen se producen en los pulmones cuando estos músculos se contraen?
18. ¿Cuál es el mecanismo principal de transporte de oxígeno en la sangre?
19. ¿Qué determina el sentido de difusión de dióxido de carbono y oxígeno en los pulmones?
20. Nombra las dos áreas cerebrales principales involucradas en el control nervioso de la respiración.
21. Enumera tres factores físicos que pueden modificar tanto la frecuencia como la profundidad respiratoria.
22. Nombra dos factores químicos que modifiquen la frecuencia y la profundidad respiratoria. ¿Cuál suele ser el más importante?
23. Define el término *hiperventilación*. En la hiperventilación, ¿retienes o expulsas más dióxido de carbono? ¿Qué efectos tiene la hiperventilación sobre el pH sanguíneo? ¿Y sobre la frecuencia respiratoria?
24. Compara y contrasta los signos y síntomas del enfisema con los de la bronquitis crónica.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

25. Después de echar a su bebé de un año (que se lleva todo a la boca) a dormir la siesta, la madre no encuentra una de las cuentas grandes que utiliza para hacer la bisutería que luego vende. Dos días más tarde, el niño empieza a desarrollar tos y fiebre. ¿Qué es lo más probable que le haya ocurrido a la cuenta, y dónde (de manera automática) crees que se encontrará?
26. ¿Por qué mamá no debe preocuparse porque su hijo Juan, de tres años, le amenace con "dejar de respirar hasta morir"?
27. El señor Gómez golpeó un nido de abejas mientras reparaba el tejado de su casa. Como era de esperar, sufrió varios picotazos. Debido a que sabía que era alérgico a los aguijones de las abejas, se apresuró en acudir al hospital. Mientras esperaba, entró en estado de *shock* y de extrema dificultad respiratoria. La exploración mostró edema de laringe y se realizó una traqueostomía. ¿Por qué es probable que el edema laríngeo obstruya la vía aérea? ¿Qué es una traqueostomía y para qué sirve?
28. Como consecuencia de un accidente cerebrovascular, la señora López deglute de manera incoordinada. ¿Qué efecto determinante tendrá sobre su capacidad de respirar?
29. El ácido acetilsalicílico (Aspirina®) es una sustancia acidificante. Describe el mecanismo por el que una sobredosis de Aspirina® provoca un incremento de la frecuencia respiratoria, y explica cómo ayuda este fenómeno a la víctima.
30. Jaime, de nueve años, dio un traspiés en una farmacia y comenzó a sentir que se ahogaba. De un pequeño agujero de su pared torácica rezumaba sangre. Cuando la asistencia sanitaria llegó, dijeron que Jaime había sufrido un neumotórax y atelectasias. ¿Qué sigifican estos dos términos y cómo se explica su dificultad respiratoria? ¿Cuál es el tratamiento?

CAPÍTULO

14

El sistema digestivo y el metabolismo corporal

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, conocerás las funciones del sistema digestivo y del metabolismo corporal y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- El sistema digestivo degrada los alimentos ingeridos en partículas lo suficientemente pequeñas como para que la sangre las absorba.
- El metabolismo produce energía celular (ATP) y lleva a cabo todas las actividades celulares de formación y degradación.

NUESTROS OBJETIVOS

PARTE I: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA DIGESTIVO

Anatomía del sistema digestivo **(págs. 469-481)**

- Nombrar los órganos del tubo digestivo y los órganos digestivos secundarios, así como identificar cada uno en el diagrama o modelo adecuado.
- Identificar la función general del sistema digestivo como la digestión y absorción de los productos alimentarios, y describir las actividades generales de cada órgano del sistema digestivo.
- Describir la composición y las funciones de la saliva.
- Nombrar los dientes de leche y los dientes permanentes, y describir la anatomía básica de un diente.

- Explicar cómo facilitan las vellosidades los procesos digestivos en el intestino delgado.

Funciones del sistema digestivo (págs. 481-493)

- Describir el mecanismo de las acciones de tragar, vomitar y defecar.
- Describir cómo se mezclan los productos alimentarios en el tracto digestivo y como se mueven por éste.
- Describir la función de las hormonas locales en el proceso digestivo.
- Enumerar las principales enzimas o grupos de enzimas producidos por los órganos digestivos o glándulas secundarias, y nombrar los productos alimentarios sobre los que actúan.
- Nombrar los productos finales de la digestión de las proteínas, las grasas y los hidratos de carbono.
- Explican la función digestiva de la bilis.

PARTE II: NUTRICIÓN Y METABOLISMO

Nutrición (págs. 493-495)

- Definir *nutriente* y *kilocaloría.*
- Enumerar las seis categorías principales de nutrientes. Indicar las fuentes alimentarias importantes y sus principales usos celulares.

Metabolismo (págs. 495-506)

- Definir *enzima, metabolismo, anabolismo* y *catabolismo.*
- Describir las funciones metabólicas del hígado.
- Reconocer los usos de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas en el metabolismo celular.
- Explicar la importancia del equilibrio energético en el organismo, e indicar las consecuencias del desequilibrio energético.
- Enumerar los factores que influyen en el índice metabólico e indicar el efecto de cada uno.
- Describir cómo se regulan la temperatura corporal.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA DIGESTIVO Y EL METABOLISMO (págs. 506-507)

- Nombrar los trastornos congénitos importantes del sistema digestivo y las anomalías congénitas significativas del metabolismo.
- Describir el efecto del envejecimiento en el sistema digestivo.

Los niños sienten fascinación por el trabajo del sistema digestivo: se entusiasman masticando una crujiente patata frita, se deleitan con los "bigotes" que les quedan cuando beben leche y se ríen cuando les "rugen" las tripas. Como adultos, sabemos que un sistema digestivo sano es esencial para una buena salud, porque convierte los alimentos en las materias primas que forman y alimentan nuestras células. En especial, el sistema digestivo absorbe los alimentos (los *ingiere*), los descompone física y químicamente en moléculas nutrientes (los *digiere*) y *absorbe* estos nutrientes en el torrente circulatorio. A continuación, se deshace de los restos indigeribles (los *defeca*).

PARTE I: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA DIGESTIVO

Anatomía del sistema digestivo

Los órganos del sistema digestivo pueden dividirse en dos grupos principales: los que forman el *tubo digestivo* y los *órganos digestivos secundarios* (Figura 14.1). El

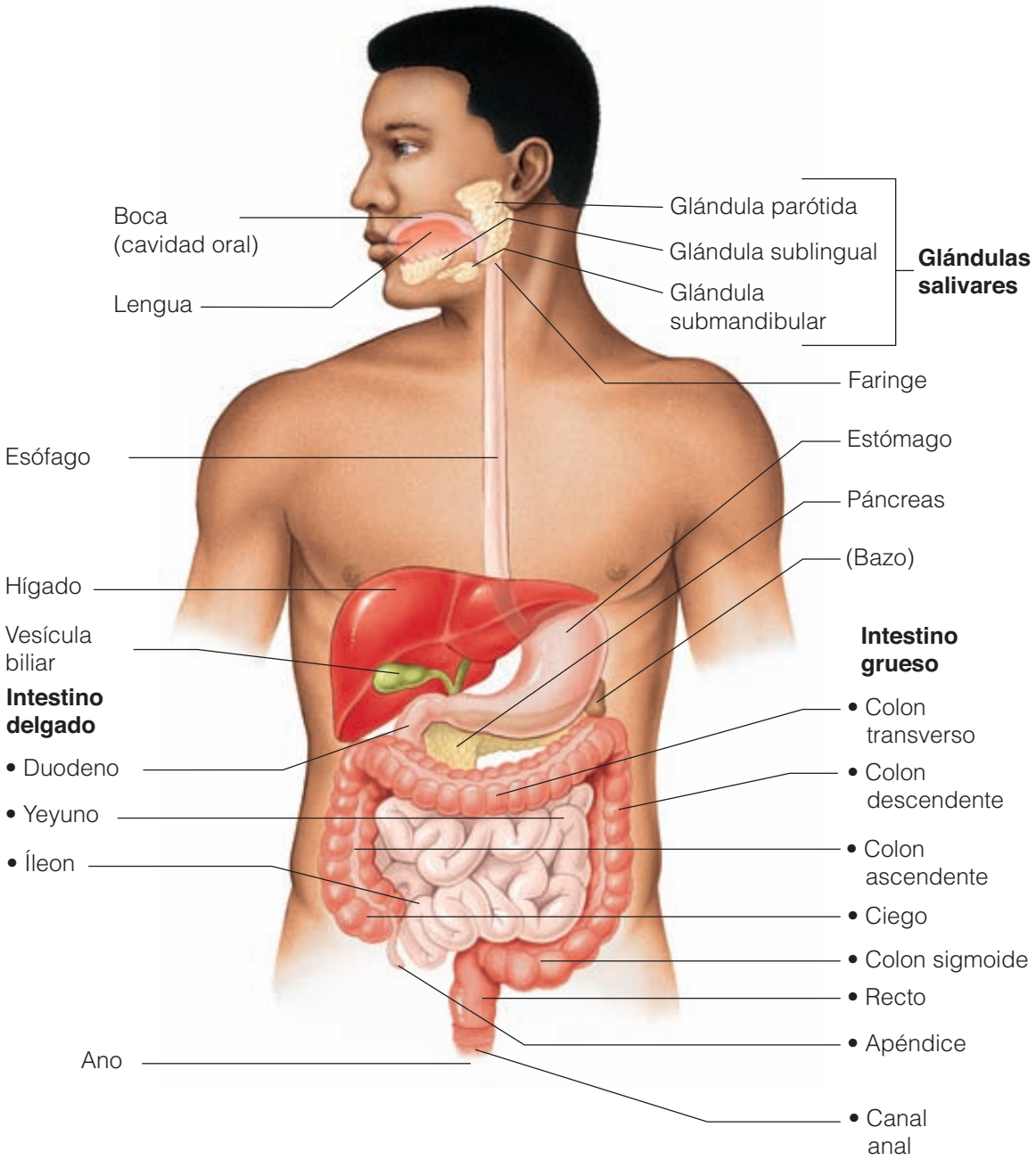


FIGURA 14.1 El sistema digestivo humano: el tubo digestivo y los órganos secundarios. (El hígado y la vesícula biliar se reflejan superiormente y al lado derecho del cuerpo.)

tubo digestivo realiza todo el conjunto de funciones digestivas (ingiere, digiere, absorbe y defeca). Los órganos secundarios (dientes, lengua y algunas grandes glándulas digestivas) facilitan el proceso de descomposición digestiva de varias formas.

Órganos del tubo digestivo

El **tubo digestivo,** también denominado **tracto gastrointestinal (GI),** es un tubo muscular hueco y enrollado que recorre la cavidad ventral del cuerpo y se abre en ambos extremos. Sus órganos son la *boca,* la *faringe,*

P *¿Qué grado de protección implica tener varios grupos de tonsilas en la entrada oral hasta la faringe?*

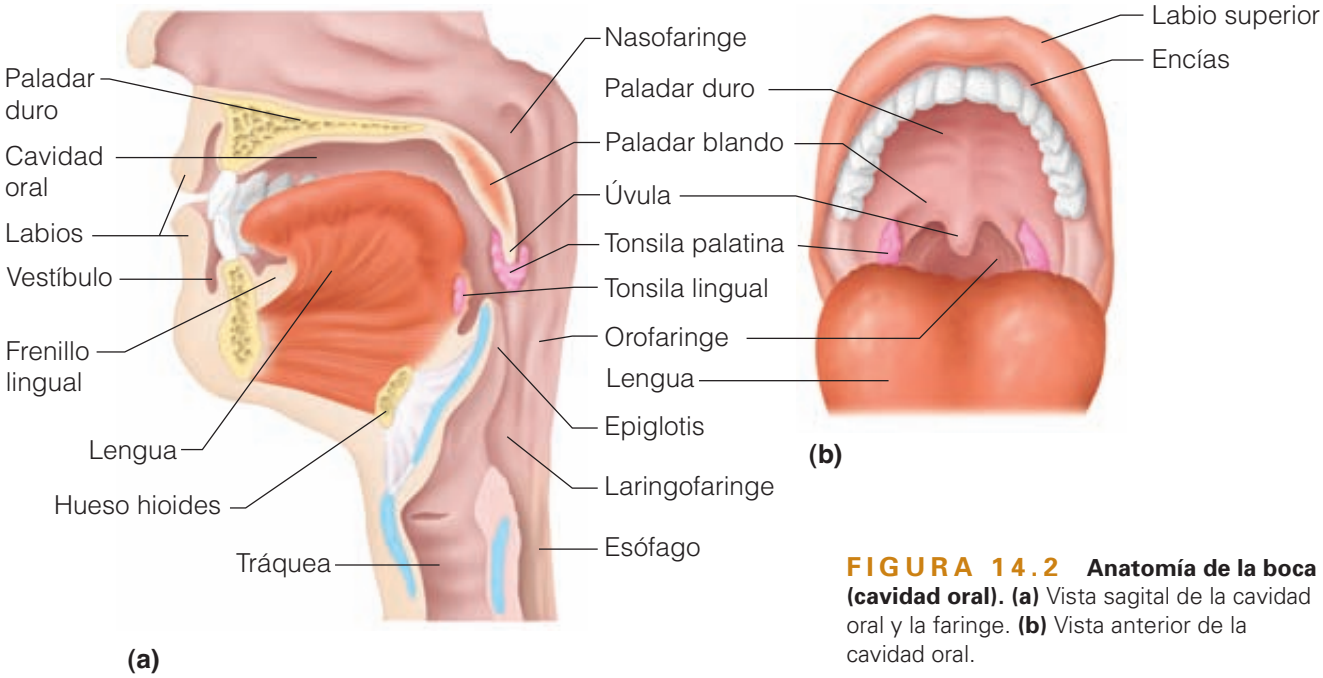


FIGURA 14.2 Anatomía de la boca (cavidad oral). (a) Vista sagital de la cavidad oral y la faringe. **(b)** Vista anterior de la cavidad oral.

el *esófago,* el *estómago,* el *intestino delgado* y el *intestino grueso*. El intestino grueso llega hasta la abertura terminal, o *ano*. En un cadáver, el tubo digestivo tiene unos 9 m de longitud aproximadamente, pero en una persona viva, es considerablemente más corto debido al tono muscular relativamente constante. El material alimentario en este tubo se encuentra técnicamente fuera del cuerpo, porque sólo tiene contacto con las células que rodean el tracto digestivo, y éste se abre al medio externo por ambos extremos. Esta relación se ve más claramente si se piensa en el tubo digestivo como en un donut alargado. Así, resulta sencillo entender que si metemos el dedo en el agujero de un donut, el dedo no está realmente *dentro* del donut. A continuación se describen los órganos del tubo digestivo; puedes consultarlos en la Figura 14.1.

Boca

Los alimentos entran en el tracto digestivo a través de la **boca** (o **cavidad oral**), una cavidad cubierta de membrana mucosa (Figura 14.2). Los **labios** protegen su abertura anterior, las **mejillas** forman sus paredes laterales, el **paladar duro** forma su techo anterior y el **paladar blando,** su techo posterior.

La **úvula** es una proyección carnosa con forma de dedo del paladar blando, que se extiende por la parte inferior desde el borde posterior del paladar blando. El espacio exterior entre los labios y las mejillas y el espacio interior entre los dientes y las encías es el **vestíbulo.**

El área delimitada por los dientes es la **cavidad oral propiamente dicha.** La **lengua** muscular ocupa el suelo de la boca. La lengua tiene varias uniones óseas; dos de éstas al hueso hioides y a las apófisis estiloides del cráneo. El **frenillo lingual,** un pliegue de membrana mucosa, fija la lengua al suelo de la boca y limita sus movimiento posteriores (véase la Figura 14.2a).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

A los niños que nacen con un frenillo lingual extremadamente corto se les suele llamar niños "con la lengua trabada" porque el movimiento de la lengua queda limitado, lo cual provoca un discurso distorsionado. Esta enfermedad congénita puede corregirse quirúrgicamente cortando el frenillo. ▲

R *La boca es uno de los lugares favoritos a través del cual las bacterias acceden al cuerpo, y la presencia de tonsilas (órganos llenos de linfocitos y macrófagos) es muy eficaz para evitar que muchos patógenos se adentren en el tracto digestivo.*

En el extremo posterior de la cavidad oral hay masas emparejadas de tejido linfático, las **tonsilas palatinas.** La **tonsila lingual** cubre la base de la lengua justo al final. Las tonsilas, junto con otros tejidos linfáticos, forman parte del sistema defensivo del organismo. Cuando las tonsilas se inflaman y se agrandan, bloquean parcialmente la entrada de la garganta (faringe), lo que hace que tragar se convierta en una tarea difícil y dolorosa.

A medida que los alimentos entran en la boca, se van mezclando con la saliva y se **mastican.** Las mejillas y los labios cerrados mantienen los alimentos entre los dientes mientras éstos se mastican. La lengua, tan ágil, mezcla continuamente los alimentos con la saliva mientras se mastica e inicia el tragado. Así, la descomposición de los alimentos comienza antes incluso de que éstos hayan abandonado la boca. Como hemos explicado en el Capítulo 8, las *papilas* que contienen las papilas gustativas (o receptores del sabor) se encuentran en la superficie de la lengua. Y así, además de su función de manipulación de los alimentos, la lengua nos permite disfrutar de los alimentos y apreciarlos cuando los comemos.

Faringe

Desde la boca, los alimentos pasan posteriormente a la *orofaringe* y la *laringofaringe,* que son las vías comunes de los alimentos, los líquidos y el aire. Como hemos explicado en el Capítulo 13, la faringe se subdivide en la *nasofaringe,* parte de las vías respiratorias; la **orofaringe,** posterior a la cavidad oral; y la **laringofaringe,** que es la continuación del esófago.

Las paredes de la faringe contienen dos capas de músculo esquelético. Las células de la capa interna la recorren longitudinalmente; mientras que las de la capa externa (los músculos constrictores) rodean la pared de forma circular. Las contracciones alternantes de estas dos capas musculares impulsan los alimentos a través de la faringe al esófago, situado más abajo. Este mecanismo de impulsión, denominado *peristalsis*, se describe más adelante.

Esófago

El **esófago** (o *garganta*) va desde la faringe a través del diafragma hasta el estómago. Con unos 25 cm de longitud, es esencialmente un "pasillo" que conduce los alimentos (mediante la peristalsis) hasta el estómago.

Las paredes de los órganos del tubo digestivo que van desde el esófago hasta el intestino grueso están formadas por las mismas cuatro capas (o túnicas) de tejido básico (Figura 14.3):

1. La **mucosa** es la capa más interna, una membrana húmeda que cubre la cavidad (o **luz**) del órgano. Consta principalmente de un *epitelio superficial,* además de una pequeña cantidad de tejido conectivo *(lámina propia)* y una escasa capa *de músculo liso.* Más allá del esófago, que tiene un epitelio escamoso estratificado resistente a la fricción, el epitelio es en su mayor parte cilíndrico simple.
2. La **submucosa** se encuentra justo debajo de la mucosa. Se trata de una capa de tejido conectivo suave que contiene vasos sanguíneos, terminaciones nerviosas, ganglios linfáticos y vasos linfáticos.
3. La **capa muscular externa** es una capa muscular que suele estar formada por una *capa circular* interna y una *capa longitudinal* externa de células de músculo liso.
4. La **serosa** es la capa más externa de la pared. Está formada por una sola capa de células planas que producen líquido seroso, el **peritoneo visceral.** El peritoneo visceral es la continuación del **peritoneo parietal,** liso y resbaladizo, que cubre la cavidad abdominopélvica mediante una extensión de la membrana, el **mesenterio.** Estas relaciones se ilustran en la Figura 14.5 (pág. 495).

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando se infecta el peritoneo, una enfermedad denominada **peritonitis,** las membranas peritoneales tienden a pegarse alrededor de la zona infectada. Esto ayuda a cerrar y localizar muchas infecciones intraperitoneales (al menos inicialmente), lo que ofrece tiempo para que los macrófagos del tejido linfático organicen un ataque. ▲

La pared del tubo digestivo contiene dos importantes *plexos nerviosos intrínsecos*; el **plexo nervioso submucoso** y el **plexo nervioso mientérico** ("músculo intestinal"). Estas redes de fibras nerviosas en realidad forman parte del sistema nervioso autónomo. Ayudan a regular la movilidad y la actividad secretora de los órganos del tracto GI.

Estómago

El estómago tiene forma de C (Figura 14.4), y se encuentra en el lado izquierdo de la cavidad abdominal, casi escondido por el hígado y el diafragma. Se han nombrado distintas zonas del estómago. La *región cardiaca* (denominada así por su posición cerca del corazón) rodea al **esfínter cardioesofágico,** a través del cual los alimentos entran al estómago desde el esófago. El *fundus* es la parte expandida del estómago situada lateralmente con repecto a la región cardiaca. El *cuerpo* es la parte media y, a medida que se ensancha por su parte inferior, se convierte en el *antro pilórico* y, a continuación, en el *píloro,* que tiene forma de embudo y es la parte terminal del estómago. Existe una

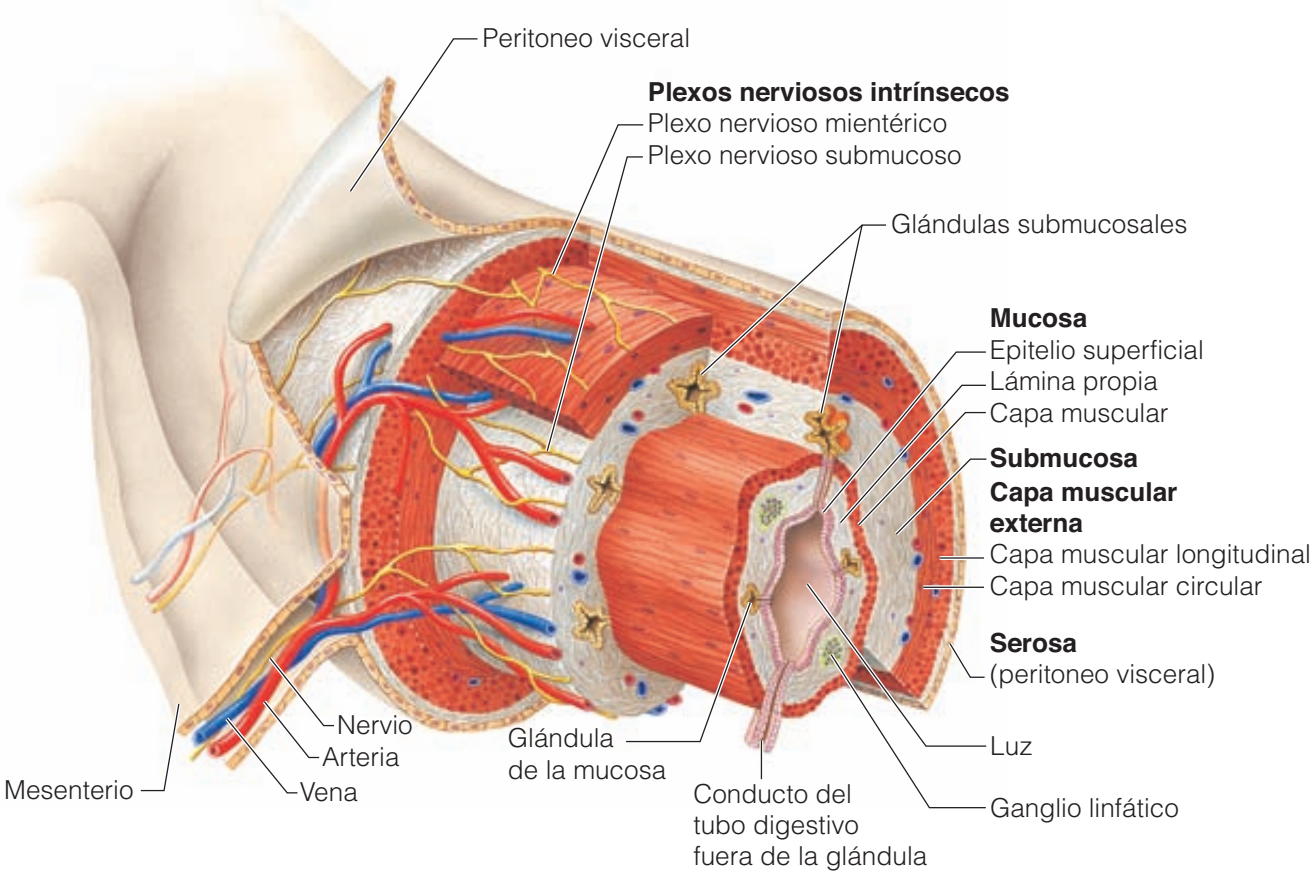


FIGURA 14.3 **Estructura básica de la pared del tubo digestivo.**

continuidad entre el píloro y el intestino delgado a través del **esfínter pilórico** (o **válvula**). El tamaño del estómago varía de 15 a 25 cm, pero su diámetro y volumen dependen de la cantidad de alimentos que contiene. Cuando está lleno, puede contener unos cuatro litros de alimento. Cuando está vacío, se retrae sobre sí mismo y su mucosa forma grandes pliegues denominados **rugosidades** (*ruga* = arruga, pliegue). La superficie lateral convexa del estómago es la **curvatura mayor;** su superficie media cóncava es la **curvatura menor.**

El **epiplón menor,** una doble capa de peritoneo, se extiende desde el hígado hasta la curvatura menor. El **epiplón mayor,** otra extensión del peritoneo, se extiende hacia abajo y cubre los órganos abdominales como un delantal de encaje antes de unirse a la pared corporal posterior (Figura 14.5). El epiplón mayor está lleno de grasa, que ayuda a aislar, amortiguar y proteger los órganos abdominales, y cuenta con grandes grupos de ganglios linfáticos que contienen macrófagos y células defensivas del sistema inmunitario.

El estómago actúa como un "depósito de almacenamiento" temporal de alimentos, a la vez que como lugar de descomposición de los alimentos. Además de las capas musculares circulares y longitudinales habituales, su pared contiene una tercera capa organizada de forma oblicua en la *capa muscular externa* (véase la Figura 14.4a). Esta organización permite que el estómago no sólo mueva los alimentos por el tracto, sino también que bata, mezcle y "polpee" los alimentos, de modo que los descomponga físicamente en fragmentos más pequeños. Asimismo, la descomposición química de las proteínas comienza en el estómago. La mucosa del estómago es un epitelio cilíndrico simple formado por completo por células mucosas que producen una capa protectora de moco alcalino rico en bicarbonato que se pega a la mucosa del estómago y protege la pared del mismo frente a daños debidos a ácidos y a su digestión por parte de las enzimas. Por otra parte, esta cobertura lisa está dotada de millones de profundas *fosas gástricas,* que conducen a las *glándulas gástricas* (Figura 14.4c), las cuales secre-

P *¿Qué modificación de la capa muscular externa del estómago te permite digerir los alimentos de forma mecánica?*

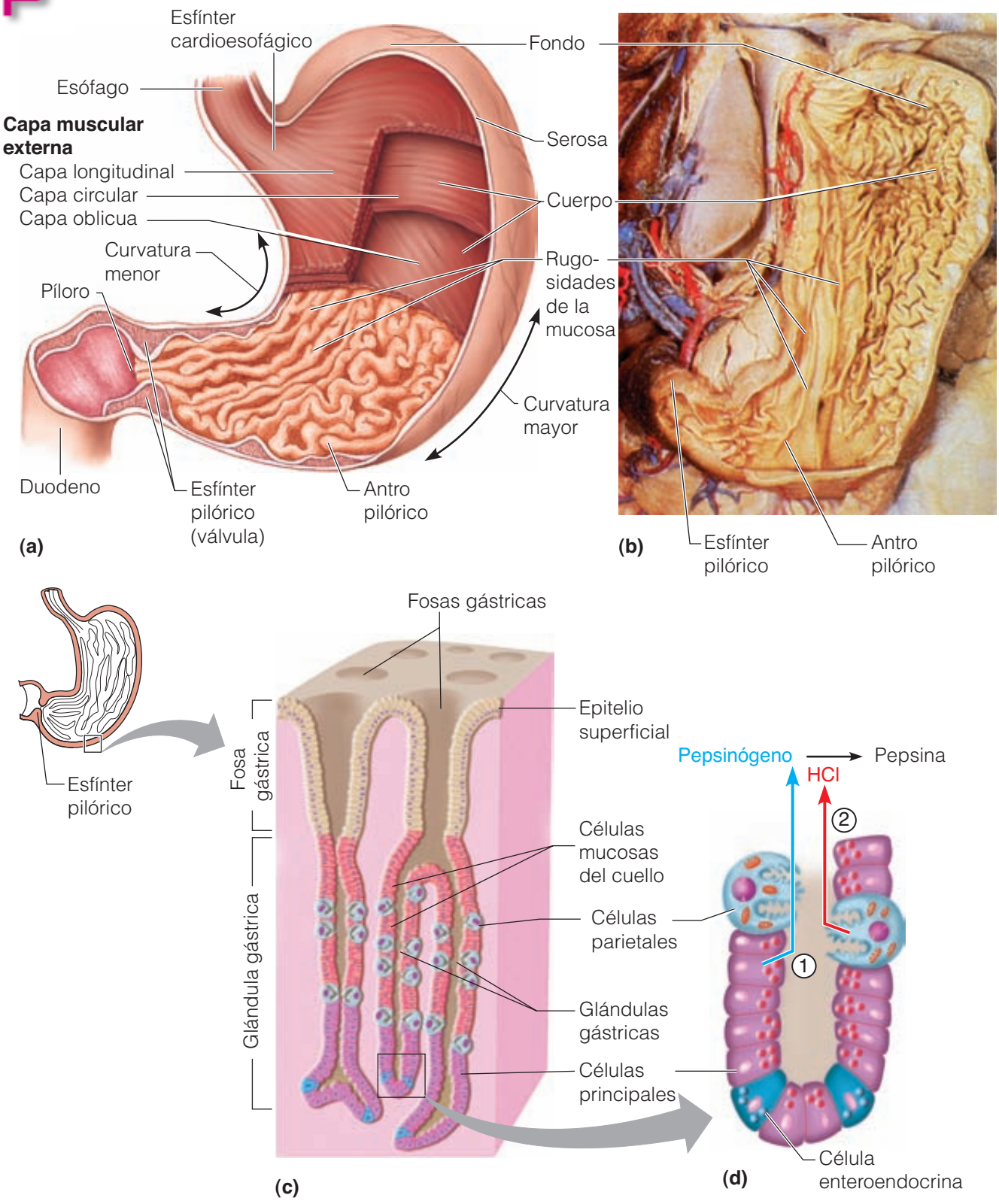


FIGURA 14.4 **Anatomía del estómago.** Anatomía interna general (sección frontal). **(a)** Dibujo. **(b)** Foto. **(c)** Vista ampliada de las fosas y glándulas gástricas (sección longitudinal). **(d)** Esquema que muestra la secuencia de sucesos desde ① la producción de pepsinógeno mediante las células principales hasta ② su activación (a pepsina) mediante el HCl secretado por las células parietales.

R *Su tercera capa de músculo liso, la capa oblicua que le permite amasar o golpear los alimentos.*

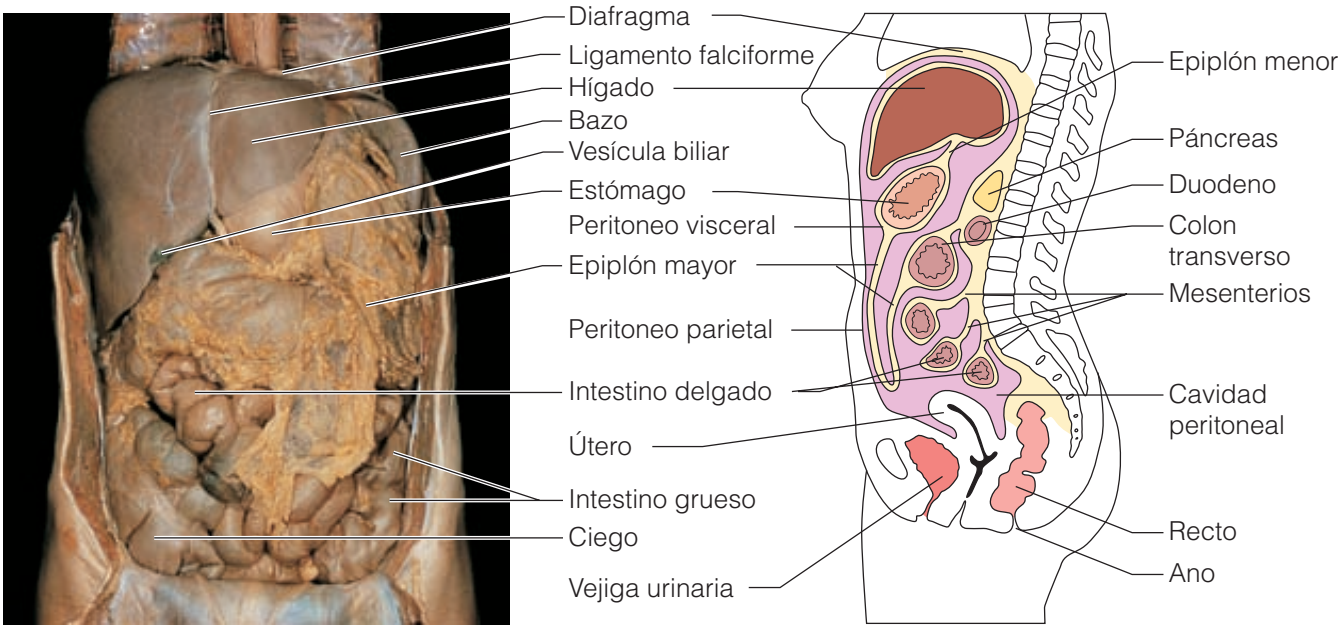


FIGURA 14.5 Uniones peritoneales de los órganos abdominales.
(a) Vista anterior; el epiplón mayor aparece en su posición normal, cubriendo la víscera abdominal. **(b)** Vista sagital de la cavidad abdominopélvica de una mujer.

tan una solución denominada **jugo gástrico.** Por ejemplo, algunas células estomacales producen el **factor intrínseco,** una sustancia necesaria para la absorción de vitamina B_{12} desde el intestino delgado. Las **células principales** producen enzimas que digieren proteínas, en su mayor parte **pepsinógenos,** y las **células parietales** producen ácido clorhídrico corrosivo, que hace que el contenido del estómago sea ácido y activa las enzimas (Figura 14.4d). Las *células mucosas del cuello* producen un fino moco ácido bastante distinto del que secretan las células mucosas de la mucosa. Todavía se desconoce la función especial que desempeña este moco. También hay otras células, las *células enteroendocrinas* (*entero* = vientre), que producen hormonas locales, como la *gastrina,* que son importantes para las actividades digestivas del estómago (véase la Tabla 14.1 de la pág. 490).

La mayor parte de la actividad digestiva se produce en la región pilórica del estómago. Después de que los alimentos se hayan procesado en el estómago, tienen el aspecto de una crema espesa denominada **quimo.** El quimo entra en el intestino delgado a través del esfínter pilórico.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Cuál es el orden secuencial (de la boca al ano) de los órganos digestivos que forman el tubo digestivo?
2. ¿En qué órgano del tubo digestivo comienza la digestión de las proteínas?
3. El epitelio del estómago secreta varias sustancias, incluidos el moco alcalino y el factor intrínseco. ¿Cuál es la función de cada una de estas dos secreciones?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Intestino delgado

El **intestino delgado** es el principal órgano digestivo del organismo. A través de su tortuoso recorrido, el alimento que puede utilizarse se prepara finalmente para su viaje en las células del cuerpo. El intestino delgado es un tubo muscular que se extiende desde el esfínter pilórico hasta el **intestino grueso** (véase la Figura 14.1, pág. 470). Se trata de la sección más larga del tubo di-

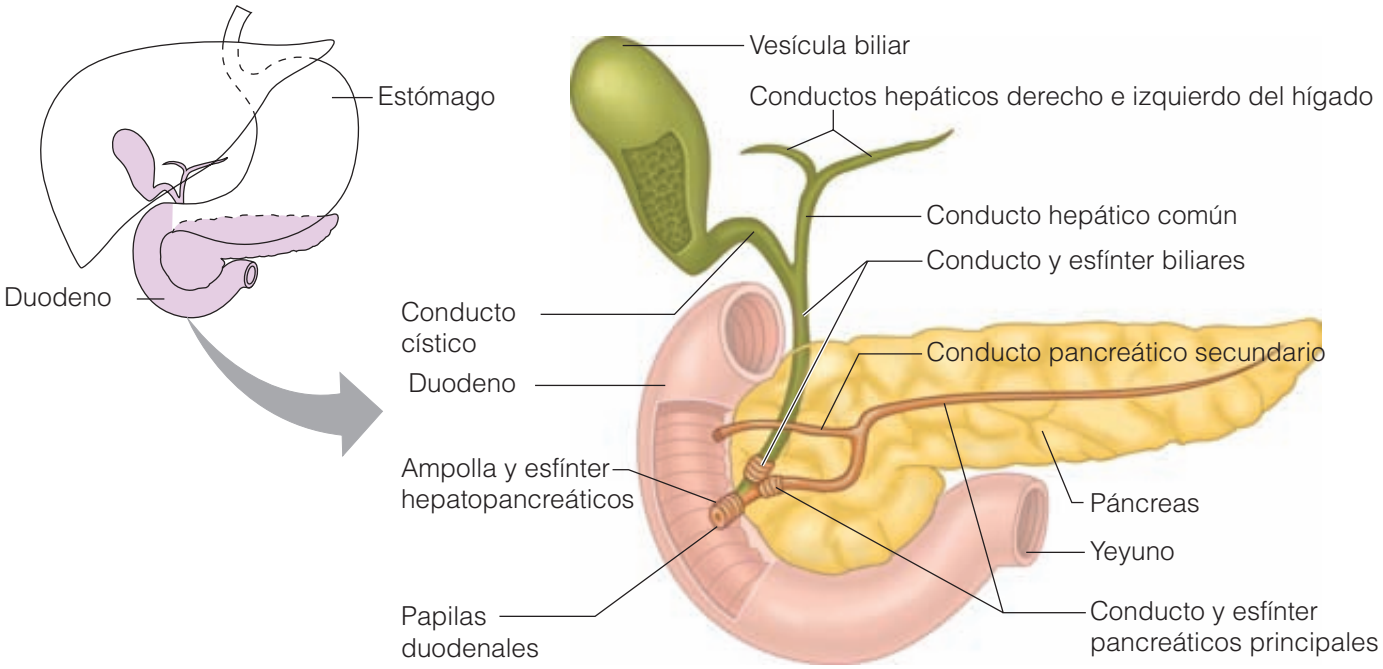


FIGURA 14.6 El duodeno del intestino delgado y los órganos relacionados.

gestivo, con una longitud media de entre 2,5 y 7 m en una persona viva. Exceptuando la parte inicial del intestino delgado (el duodeno), que se encuentra mayoritariamente en una posición retroperitoneal, el intestino delgado cuelga en bobinas con forma de salchicha en la cavidad abdominal, suspendidas desde la pared abdominal posterior mediante el mesenterio con forma de abanico (véase la Figura 14.5). El intestino grueso lo rodea y enmarca en la cavidad abdominal.

El intestino delgado presenta tres subdivisiones: el **duodeno** ("longitud de doce dedos de ancho"), el **yeyuno** ("vacío") y el **íleon** ("intestino enrollado"), que contribuyen al 5%, casi al 40% y casi al 60% de la longitud del intestino delgado, respectivamente (véase la Figura 14.1).

El íleon se une al intestino grueso en la **válvula ileocecal,** que une los intestinos grueso y delgado (véase la Figura 14.8, pág. 478).

La digestión química de los alimentos empieza realmente en el intestino delgado. El intestino delgado es capaz de procesar sólo una pequeña cantidad de alimento cada vez. El *esfínter pilórico* (literalmente, "portero") controla el movimiento de los alimentos en el intestino delgado desde el estómago y evita que el intestino delgado se llene demasiado. Aunque el duodeno con forma de C es la subdivisión más corta del intestino delgado, tiene las características más interesantes. Algunas enzimas son producidas por las células intestinales. Más importantes son las enzimas que produce el páncreas y que, a continuación, entran en el duodeno a través de los **conductos pancreáticos,** donde completan la descomposición química de los alimentos en el intestino delgado. La *bilis* (formada por el hígado) también entra en el duodeno a través del **conducto biliar** en la misma zona (Figura 14.6). Los principales conductos pancreáticos y biliares se unen al duodeno para formar la *ampolla hepatopancreática,* como una petaca, literalmente, el "alargamiento hepatopancreático". Desde allí, la bilis y el jugo pancreático se desplazan por las *papilas duodenales* y entran en el duodeno juntos.

Casi toda la absorción de los alimentos se produce en el intestino delgado. El intestino delgado está bien adaptado a su función. Su pared presenta tres estructuras que aumentan tremendamente la superficie absorbente: microvellosidades, vellosidades y pliegues circulares (Figura 14.7). Las **microvellosidades** son diminutas proyecciones de la membrana plasmática de las células mucosas que proporcionan un aspecto velloso a la superficie celular, algunas veces denominada **borde ciliado.** Las membranas plasmáticas portan enzimas *(enzimas de bordes ciliados)* que completan la digestión de las proteínas y los hidratos de carbono en el intestino delgado. Las **vellosidades** son proyecciones con forma de dedo de la mucosa que le confieren un aspecto y una

P *¿Cuál es el valor funcional de las microvellosidades en las células absorbentes del intestino delgado?*

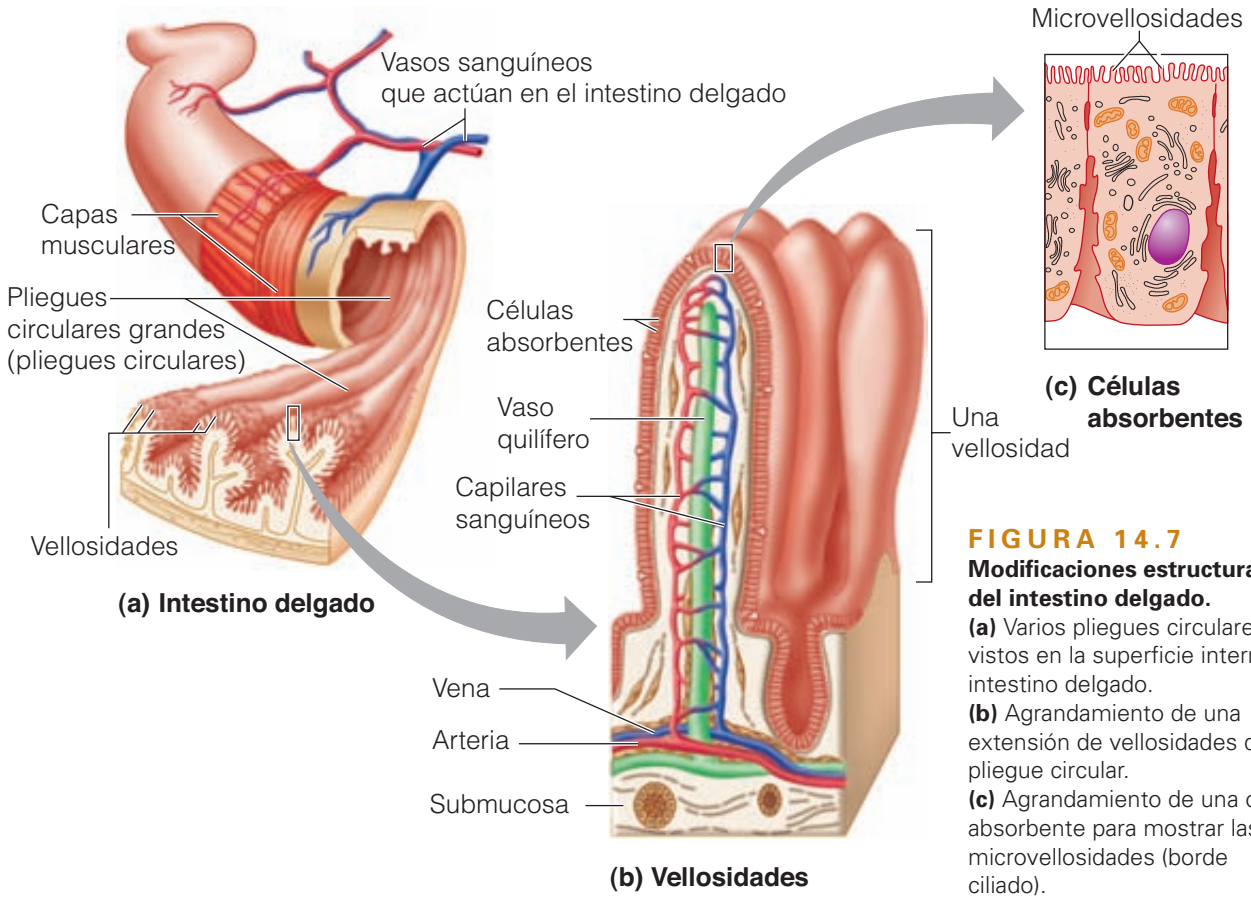


FIGURA 14.7
Modificaciones estructurales del intestino delgado.
(a) Varios pliegues circulares, vistos en la superficie interna del intestino delgado.
(b) Agrandamiento de una extensión de vellosidades del pliegue circular.
(c) Agrandamiento de una célula absorbente para mostrar las microvellosidades (borde ciliado).

apariencia aterciopelados, muy parecidos al suave tejido de una toalla. En cada vellosidad hay un sofisticado lecho capilar y un capilar linfático modificado denominado vaso **quilífero.** Los productos alimentarios digeridos se absorben a través de las células mucosas de los capilares y el quilífero, como se explica en la página 492. Los **pliegues circulares,** también denominados ***plicae circulares,*** son profundos pliegues de capas de mucosa y submucosa. A diferencia de las rugosidades del estómago, los pliegues circulares no desaparecen cuando los alimentos llenan el intestino delgado. Todas estas modificaciones estructurales, que aumentan el área de superficie, se reducen en número hacia el final del intestino delgado. En contraste, las colecciones locales de tejido linfático (denominadas **ganglios linfáticos agregados**) que se encuentran en la submucosa aumentan en número hacia el final del intestino delgado. Esto refleja el hecho de que el residuo alimentario restante (sin digerir) del intestino contiene una gran cantidad de bacterias, cuyo acceso al torrente circulatorio debe evitarse a toda costa.

R *Aumentan increíblemente la zona superficial disponible para la absorción de los productos alimentarios digeridos.*

Intestino grueso

El **intestino grueso** tiene un diámetro mucho mayor que el intestino delgado (de ahí su nombre, el intestino *grueso*), pero tiene una longitud menor. Con unos 1,5 m de longitud, se extiende desde la válvula ileocecal hasta el ano (Figura 14.8). Sus funciones principales son el secado del residuo alimentario indigerible mediante la absorción de agua y la eliminación de estos residuos del cuerpo en forma de heces. Enmarca el intestino delgado por tres lados y presenta las siguientes subdivisiones: **ciego, apéndice, colon, recto** y **canal anal.** El ciego con forma de saco es la primera parte del intestino grueso. Colgando del ciego encontramos el apéndice con forma de gusano ("vermiforme"), una zona potencialmente problemática. Puesto que suele estar enrollado, es una ubicación ideal para la acumulación y multiplicación de bacterias. La inflamación del apéndice,

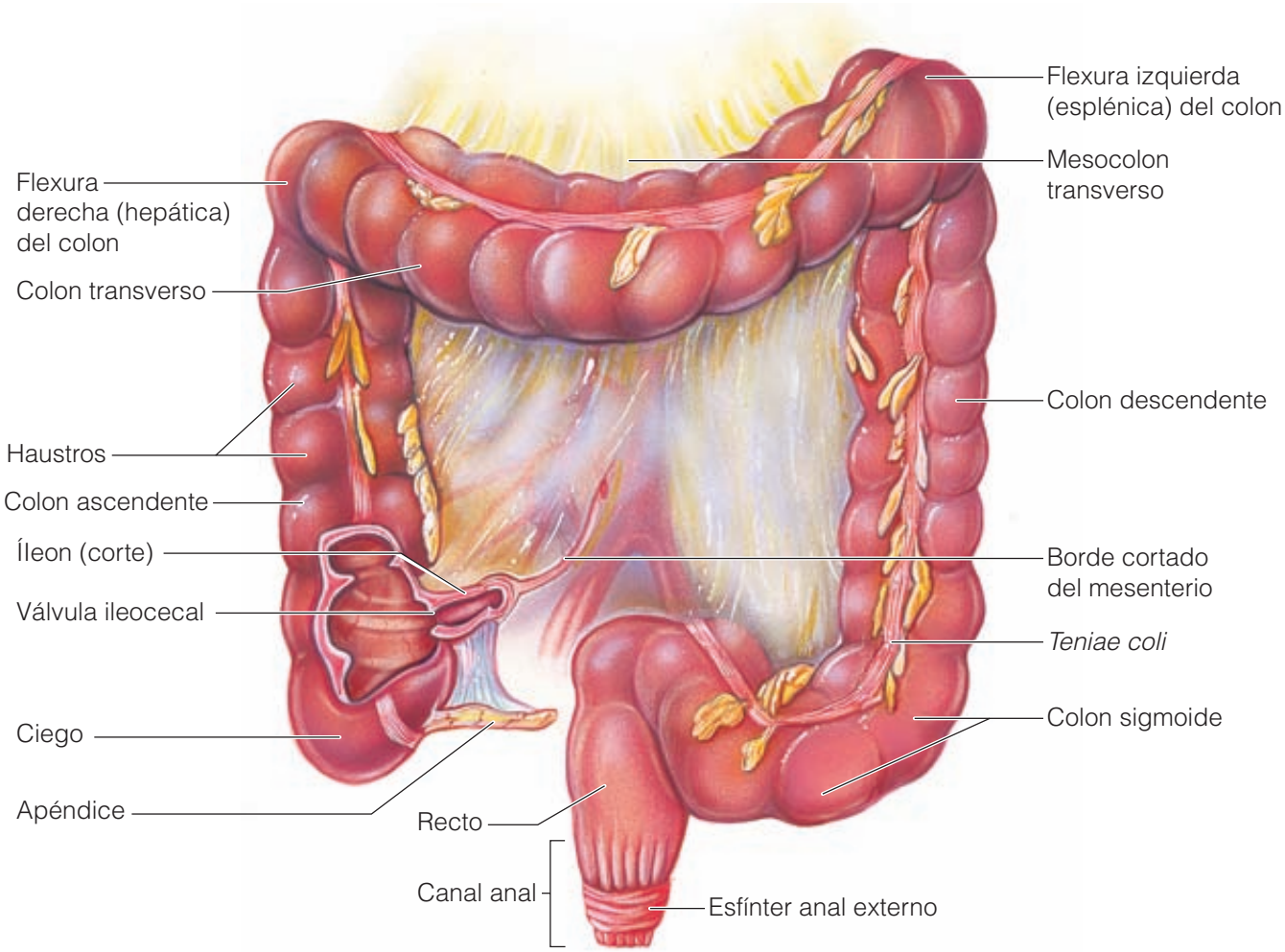


FIGURA 14.8 **El intestino grueso.** Se ha extraído una sección del ciego para mostrar la válvula ileocecal.

la **apendicitis,** es el resultado habitual. El colon se divide en varias regiones distintas. El **colon ascendente** recorre hacia arriba la parte derecha de la cavidad abdominal y realiza un giro, la *flexura derecha* (o *hepática*) *del colon,* para cruzar la cavidad abdominal como el **colon transverso.** Vuelve a girar en la *flexura izquierda* (o *esplénica*) *del colon* y continúa hacia abajo por el lado izquierdo como el **colon descendente,** para entrar en la pelvis, donde se convierte en el **colon sigmoide** con forma de S. El colon sigmoide, el recto, y el canal anal se encuentran en la pelvis. El canal anal termina en el ano, el cual está abierto al exterior. El canal anal presenta un *esfínter voluntario* externo (el **esfínter anal externo**) compuesto por músculo esquelético y un *esfínter involuntario* interno **(esfínter involuntario interno)** formado por músculo liso. Estos esfínteres, que actúan de forma bastante parecida a los cierres de un monedero para abrir y cerrar el ano, suelen estar cerrados excepto durante la defecación, cuando las heces se eliminan del organismo.

Puesto que la mayoría de los nutrientes han sido absorbidos antes de llegar al intestino grueso, no hay ninguna vellosidad presente en él, pero hay una increíble cantidad de *células caliciformes* en su mucosa que producen moco alcalino (rico en HCO_3^-). El moco actúa como lubricante para facilitar el paso de las heces hasta el final del tracto digestivo.

En el intestino grueso, la capa muscular longitudinal de la capa muscular externa de la mucosa se reduce a tres bandas de músculo denominadas *teniae coli* ("lazos del colon"). Puesto que estas bandas musculares suelen mostrar cierto grado de tono (están parcialmente con-

traídas), hacen que la pared se arrugue en pequeños sacos a modo de bolsillos denominados **haustros.**

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. ¿Qué esfínter muscular regula el paso del quimo por el intestino delgado?
5. ¿Cuáles son las dos funciones principales del intestino grueso?
6. ¿Qué son las vellosidades y por qué resultan importantes?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Órganos digestivos secundarios

Dientes

La función que desempeñan los dientes en el procesamiento de los alimentos necesita una breve introducción. Nosotros **masticamos** abriendo y cerrando la mandíbula y moviéndola de un lado a otro mientras utilizamos la lengua continuamente para mover el alimento entre los dientes. En el proceso, los dientes desgarran y machacan los alimentos, de modo que los descomponen en fragmentos más pequeños.

Normalmente, a los 21 años se han formado dos grupos de dientes (Figura 14.9). El primer grupo es el de los **dientes primarios,** también denominados **dientes infantiles** o **dientes de leche.** Los dientes primarios empiezan a nacer en torno a los seis meses, y un bebé posee un grupo completo (20 dientes) a los dos años de edad. Los primeros dientes que aparecen son los incisivos centrales inferiores, un suceso que los padres suelen esperar con ansiedad.

A medida que el segundo grupo dental, los **dientes permanentes** más profundos, crecen y se desarrollan, las raíces de los dientes de leche son reabsorbidas, y entre los seis y los doce años se sueltan y se caen. Todos los dientes permanentes, excepto los terceros molares, ya han nacido al llegar al final de la adolescencia. Los terceros molares, también denominados *muelas del juicio,* nacen más tarde, entre los 17 y los 25 años. Aunque hay 32 dientes permanentes en un grupo completo, a menudo las muelas del juicio no salen del todo; a veces están completamente ausentes.

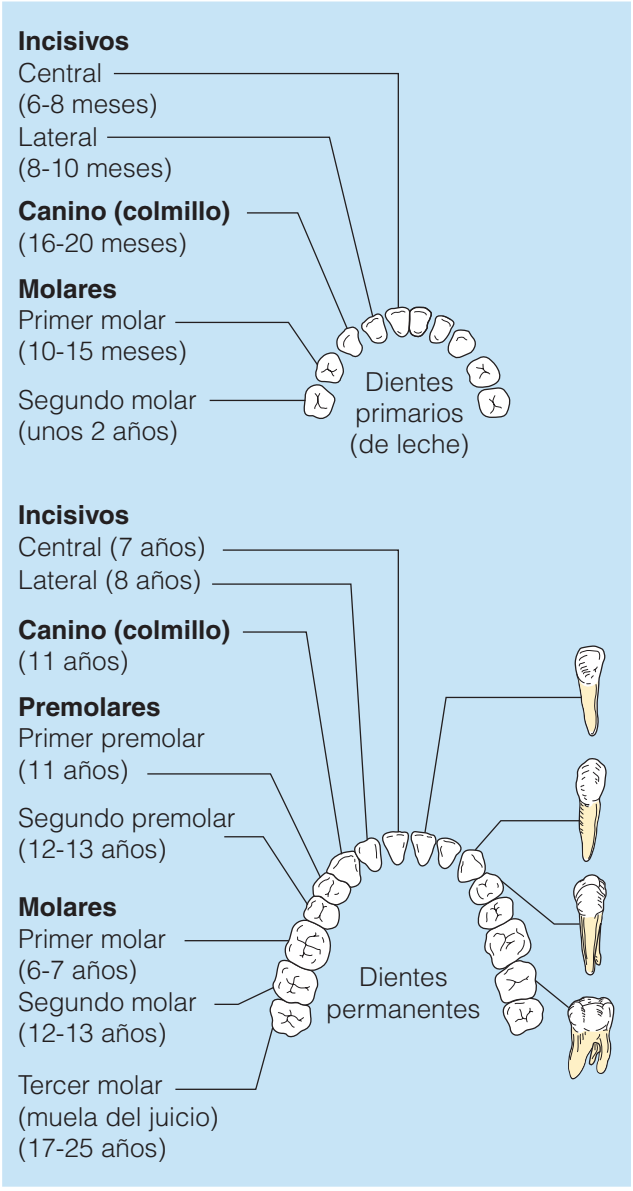


FIGURA 14.9 Dientes primarios y permanentes de los humanos. El tiempo aproximado de la erupción dental aparece entre paréntesis. La mandíbula superior presenta el mismo número y la misma organización dental que la mandíbula inferior, así que en cada caso sólo se muestra la mandíbula inferior. Las formas de los dientes individuales aparecen a la derecha.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando los dientes permanecen incrustados en la mandíbula, se dice que están impactados. Los dientes impactados ejercen presión y provocan bastante dolor, por lo que deben extraerse quirúrgicamente. Lo más común es que las muelas del juicio estén impactadas. ▲

Los dientes se clasifican según su forma y funcionan como incisivos, caninos, premolares y molares (véase la Figura 14.9). Los **incisivos,** con forma de cincel, están hechos para cortar; los **caninos** con forma afilada (colmillos) son para desgarrar o perforar. Los **premolares**

¿Qué sustancia forma el conjunto del diente?

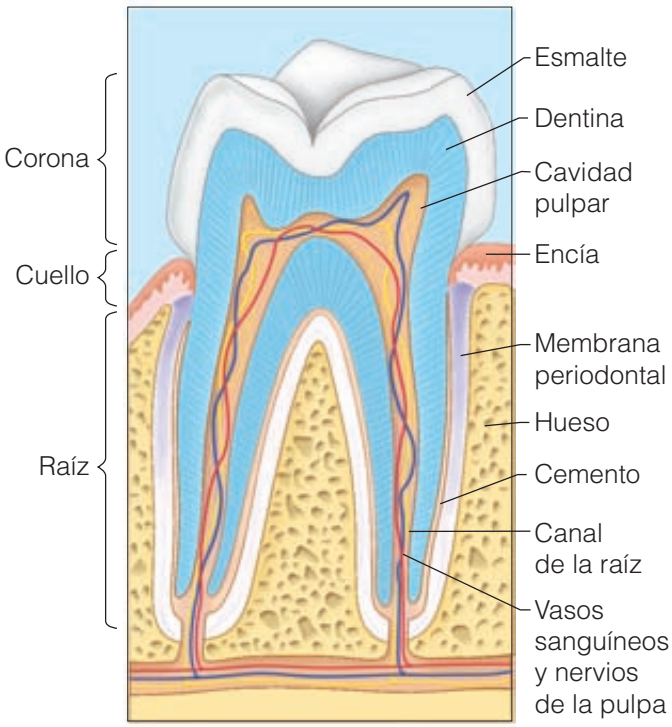


FIGURA 14.10 **Sección longitudinal de un molar.**

y los **molares** presentan coronas anchas con puntas redondeadas y son los dientes mejor adaptados para machacar.

Un diente consta de dos regiones principales, la **corona** y la **raíz,** como se muestra en la Figura 14.10. La corona recubierta de esmalte es la parte expuesta del diente por encima de la **encía.** El **esmalte** es la sustancia más dura del cuerpo y resulta bastante quebradizo porque tiene una elevada mineralización con sales cálcicas. La parte de diente incrustada en la mandíbula es la raíz; la raíz y la corona están unidas por la región dental denominada **cuello.** La superficie exterior de la raíz está cubierta por una sustancia denominada **cemento,** que une el diente a la **membrana periodontal (ligamento).** Este ligamento sujeta el diente en su lugar de la mandíbula. La **dentina,** un material similar al hueso, se encuentra por debajo del esmalte y forma el conjunto del diente. Rodea la **cavidad pulpar** central, que contiene varias estructuras (tejido conectivo, vasos sanguíneos y fibras nerviosas) que en conjunto se denominan **pulpa.** La pulpa aporta nutrientes a los tejidos dentales y ofrece sensaciones en los dientes. Donde la cavidad pulpar se extiende en la raíz, se convierte en el **canal de la raíz,** que proporciona un recorrido para que los vasos sanguíneos, los nervios y otras estructuras pulpares accedan a la cavidad pulpar del diente.

La dentina.

Glándulas salivares

Tres pares de **glándulas salivares** vacían sus secreciones en la boca. Las grandes **glándulas parótidas** se encuentran en la parte anterior de las orejas. Las **paperas,** una enfermedad infantil común, es una inflamación de las glándulas parótidas. Si observas la ubicación de las glándulas parótidas en la Figura 14.1, comprenderás por qué los individuos con paperas refieren dolor al abrir la boca o masticar.

Las **glándulas submandibulares** y las pequeñas **glándulas sublinguales** vacían sus secreciones en el suelo de la boca a través de los diminutos conductos. El producto de las glándulas salivares, la **saliva,** es una mezcla de mucosidad y líquidos serosos. La mucosidad humedece y ayuda a unir los alimentos en una masa denominada **bolo,** que facilita las acciones de masticar y tragar. La clara porción serosa contiene una enzima **(amilasa salivar),** en un jugo rico en bicarbonato (alcalino) que inicia el proceso de digestión del almidón en la boca. La saliva también contiene sustancias como la lisozima y anticuerpos (IgA) que inhiben las bacterias; por tanto, también cuenta con una función protectora. Por último pero no menos importante, la saliva disuelve las sustancias químicas de los alimentos para que puedan saborearse.

Páncreas

El **páncreas** es una glándula triangular, suave y rosa que se extiende a través del abdomen desde el bazo hasta el duodeno (véanse las Figuras 14.1 y 14.6). La mayor parte del páncreas se encuentran en la parte posterior hasta el peritoneo parietal; de ahí que su ubicación se denomine *retroperitoneal*.

Únicamente el páncreas produce enzimas (descritas más adelante) que descomponen todas las categorías de alimentos digeribles. Las enzimas pancreáticas se secretan en el duodeno en un líquido alcalino que neutraliza el quimo ácido que procede del estómago. El páncreas también posee una función endocrina; produce las hormonas insulina y glucagón, como se explica en el Capítulo 9.

El hígado y la vesícula biliar

El **hígado** es la glándula más grande del cuerpo. Ubicado debajo del diafragma, más hacia la derecha del cuerpo, se halla por encima del estómago y lo cubre casi por completo (véanse las Figuras 14.1 y 14.5). El hígado presenta cuatro lóbulos y está suspendido desde el diafragma y la pared abdominal mediante un delicado cordón del mesenterio, el **ligamento falciforme.**

No hay ninguna duda de que el hígado es uno de los órganos más importantes del organismo. Posee muchas funciones metabólicas y reguladoras; sin embargo, su función digestiva es la producción de **bilis.** La bilis abandona el hígado a través del **conducto hepático común** y entra en el duodeno a través del *conducto biliar* (véase la Figura 14.6).

La bilis es una solución acuosa entre amarilla y verde que contiene sales y pigmentos biliares (principalmente bilirrubina, un producto de la descomposición de la hemoglobina), colesterol, fosfolípidos y una variedad de electrolitos. De estos componentes, sólo las sales biliares (derivadas del colesterol) y los fosfolípidos ayudan en el proceso digestivo. La bilis no contiene enzimas, pero sus sales biliares *emulsionan* las grasas mediante la descomposición física de grandes glóbulos de grasa en otros más pequeños, de modo que ofrece una zona superficial mayor para que trabajen las enzimas que digieren las grasas.

La **vesícula biliar** es un saquito verde de finas paredes que se encuentra en una fosa poco profunda en la superficie inferior del hígado (véanse las Figuras 14.1 y 14.6). Cuando no hay digestión de alimentos, la bilis vuelve a subir por el **conducto cístico** y entra en la vesícula biliar para su almacenamiento. Mientras está en la vesícula biliar, la bilis se concentra mediante la extracción de agua. Más adelante, cuando entran alimentos grasos en el duodeno, un estímulo hormonal hace que la vesícula biliar se contraiga y la bilis almacenada salga a borbotones, de modo que el duodeno pueda disponer de ella.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si la bilis se almacena en la vesícula biliar durante demasiado tiempo o si se elimina demasiada agua, el colesterol que contiene puede cristalizarse y formar cálculos biliares. Puesto que los **cálculos biliares** tienden a ser afilados, suelen provocar un dolor agonizante cuando se contrae la vesícula biliar (el típico ataque a la *vesícula biliar*).

El bloqueo de los conductos hepáticos o biliares comunes (por ejemplo, por cálculos biliares con forma de cuña) evita que la bilis entre en el intestino delgado, por lo que empieza a acumularse y acaba subiendo por el hígado. Esto ejerce presión en las células hepáticas y en las sales biliares, y los pigmentos biliares empiezan a entrar en el torrente sanguíneo. A medida que los pigmentos biliares circulan por el organismo, los tejidos se vuelven amarillos (o **ictéricos**). El bloqueo de los conductos es una causa de la icteria. Con más frecuencia es el resultado de auténticos problemas hepáticos como la **hepatitis** (una inflamación del hígado) o la **cirrosis,** una enfermedad inflamatoria crónica en la que el hígado se ve gravemente dañado y se vuelve duro y fibroso. La hepatitis se debe más habitualmente a una infección vírica provocada por el consumo de agua contaminada o su transmisión a la sangre por una transfusión o agujas contaminadas. La cirrosis está casi garantizada cuando uno bebe demasiado alcohol durante muchos años, y es una consecuencia común de la hepatitis aguda. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

7. María tiene la boca seca; segrega muy poca saliva. ¿La digestión de qué tipo de alimento se verá afectada (reducida) por esta situación?
8. ¿Cuántos dientes permanentes se tienen normalmente?
9. ¿Cuál es la función digestiva de la bilis? ¿Qué órgano secreta la bilis?
10. Sólo un órgano produce enzimas capaces de digerir todos los grupos de alimentos. ¿Cuál es?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Funciones del sistema digestivo

Descripción general de los procesos y controles gastrointestinales

Las principales funciones del tracto digestivo suelen resumirse en dos palabras: *digestión* y *absorción*. Sin embargo, muchas de sus actividades específicas (como la actividad de los músculos lisos) y determinados sucesos reguladores no se incluyen realmente en ninguna de estas dos funciones. Para describir los procesos del sistema digestivo de un modo un poco más preciso, debemos considerar en realidad unos cuantos términos funcionales más. Las actividades esenciales del tracto GI incluyen estos seis procesos, resumidos en la Figura 14.11.

1. **Ingestión.** El alimento debe colocarse en la boca antes de que pueda actuarse sobre él. Se trata de un proceso activo y voluntario denominado ingestión.
2. **Impulsión.** Si los alimentos deben ser procesados por varios órganos digestivos, deben pasar de un órgano al siguiente. La acción de tragar es un ejemplo del movimiento de los alimentos que depende

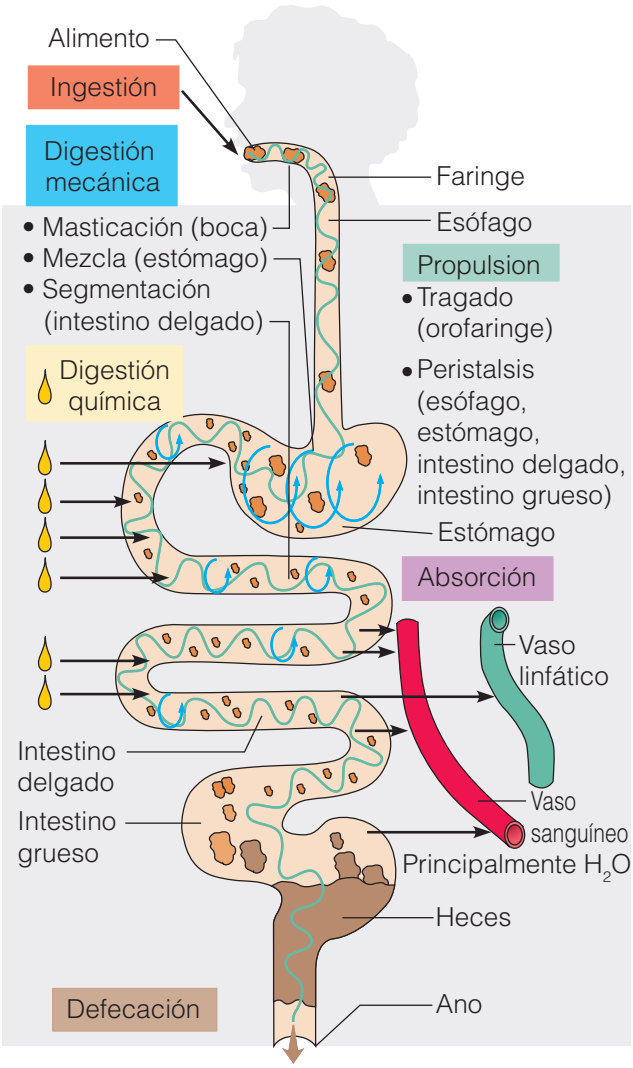


FIGURA 14.11 Resumen esquemático de las actividades del tracto gastrointestinal. Las actividades del tracto gastrointestinal incluyen la ingestión, la digestión mecánica, la digestión química (enzimática), la impulsión, la absorción y la defecación. Los puntos en que se produce la digestión química también son sitios de producción o recepción enzimática o de otras secreciones producidas por los órganos secundarios. Toda la mucosa del tracto GI segrega mucosidad, que protege y lubrica.

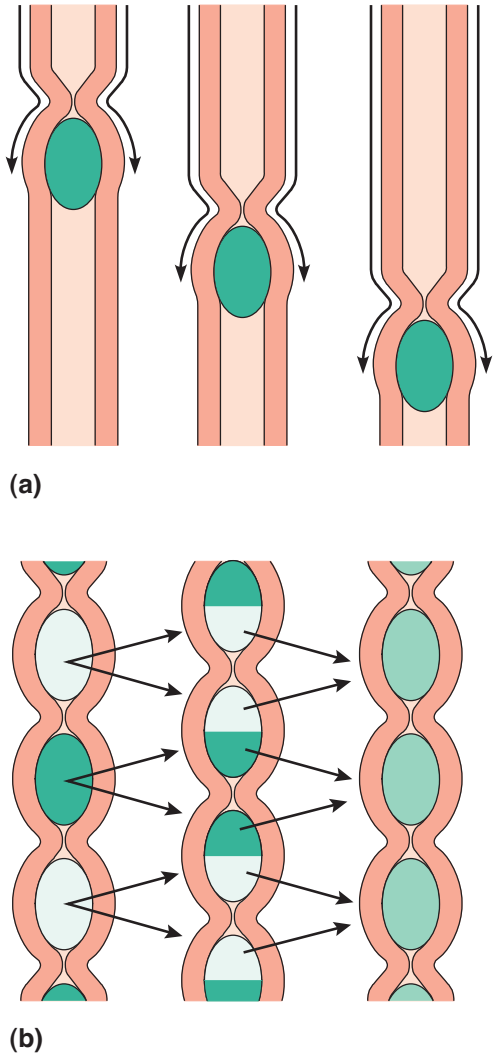


FIGURA 14.12 Movimientos peristálticos y por segmentos del tracto digestivo. (a) En la peristalsis, los segmentos adyacentes al intestino o cercanos a él (u otros órganos del tubo digestivo) se contraen y relajan alternativamente, de ahí que el alimento se mueva distalmente a lo largo del tracto. **(b)** En la segmentación, los segmentos del intestino se contraen y se relajan alternativamente. Puesto que los segmentos activos están separados por los inactivos, el alimento se mueve hacia adelante y después hacia atrás. Así, el alimento se mezcla en vez de simplemente impulsarse por el tracto.

en gran medida del proceso de impulsión denominado **peristalsis.** La peristalsis es involuntaria e implica movimientos alternantes de contracción y relajación musculares en la pared del órgano (Figura 14.12a). El efecto neto es estrujar los alimentos a lo largo del tracto. Aunque la **segmentación** (Figura 14.12b) puede ayudar a impulsar los productos alimentarios por el intestino delgado, normalmente sólo mueve los alimentos de atrás hacia adelante a través de la pared interna del órgano, que actúa para mezclarlos con los jugos digestivos. De este modo, las segmentación es más un ejemplo de digestión mecánica que de impulsión.

3. **Descomposición de los alimentos: digestión mecánica.** Mezclar los alimentos en la boca mediante la lengua, machacar la comida en el estómago y segmentarla en el intestino delgado son ejemplos de procesos que contribuyen a la digestión mecánica. La digestión mecánica prepara los alimentos para su posterior degradación a través de las enzimas mediante la fragmentación física de la comida en partículas más pequeñas.
4. **Descomposición de los alimentos: digestión química.** La secuencia de pasos en los que las moléculas grandes de alimentos se descomponen en sus bloques de formación mediante las enzimas (moléculas de proteína que actúan como catalizadores) se denomina digestión química. Recuerda que el en el Capítulo 2 indicamos que estas reacciones se denominan reacciones de *hidrólisis*, porque una molécula de agua se añade a cada unión para romperla. El agua también es necesaria como medio disolvente, así como un agente suavizador para la digestión de los alimentos.

Puesto que cada uno de los principales grupos alimentarios tiene bloques de formación muy distintos, merece la pena tomarse un poco de tiempo para revisar estas unidades químicas, que ya introdujimos en el Capítulo 2.

Los bloques de formación (o unidades) de alimentos con *hidratos de carbono* son *monosacáridos,* o azúcares simples. Tenemos que recordar sólo tres de éstos que son comunes en nuestra dieta: *glucosa, fructosa* y *galactosa*. La glucosa es la más importante sin lugar a dudas, y cuando se habla de los niveles de azúcar en sangre, la glucosa es el "azúcar" al que se hace referencia siempre. La fructosa es el azúcar más abundante de las frutas, y la galactosa se encuentra en la leche.

Esencialmente, los únicos hidratos de carbono que digiere nuestro sistema digestivo, o que se descomponen en azúcares simples, son la *sacarosa* (azúcar de mesa), la *lactosa* (azúcar de la leche), la *maltosa* (azúcar de la malta) y el *almidón*. La sacarosa, la maltosa y la lactosa se denominan *disacáridos* (o azúcares dobles), porque cada una consta de dos azúcares simples unidos. El almidón es un *polisacárido* (literalmente, "muchos azúcares") formado por cientos de unidades de glucosa. Aunque consumimos alimentos que contienen otros polisacáridos, como la *celulosa,* carecemos de enzimas capaces de descomponerlos. Los polisacáridos indigeribles no nos proporcionan ningún nutriente, pero ayudan a mover los productos alimentarios por el tracto gastrointestinal de modo que proporcionan volumen, o *fibra,* a nuestra dieta.

Las proteínas se digieren en bloques de formación, que son aminoácidos. Los productos intermedios de la digestión de proteínas son polipéptidos y péptidos.

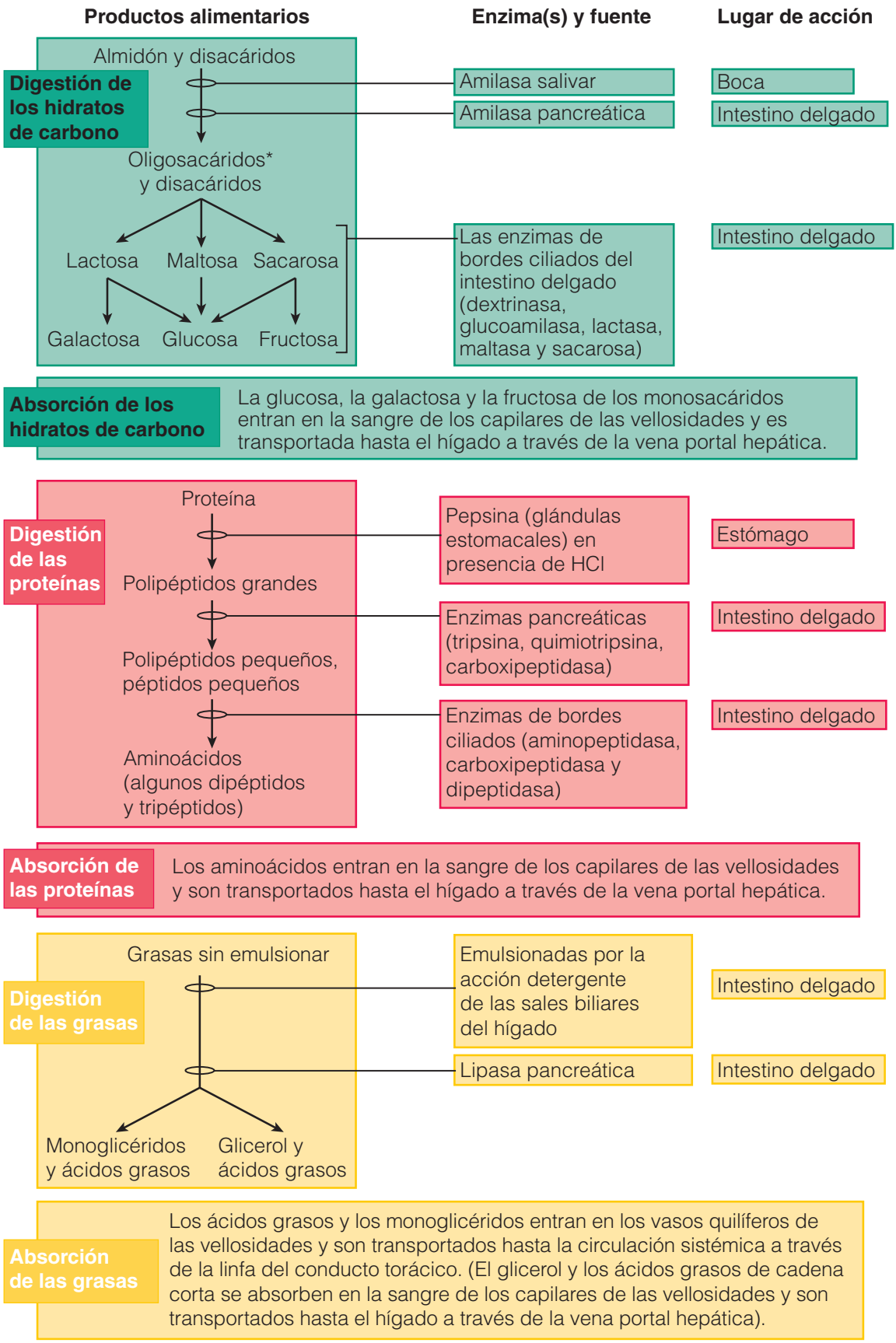
Cuando se digieren los lípidos (grasas), éstos producen dos tipos distintos de bloques de formación; ácidos grasos y un alcohol denominado glicerol. La descomposición química de hidratos de carbono, proteínas y grasas se resume en la Figura 14.13 y se describe con más detalle un poco más adelante.

5. **Absorción.** El transporte de los productos finales digeridos de la luz del tracto GI hasta la sangre o la linfa es la absorción. Para que se produzca la absorción, los alimentos digeridos deben entrar primero en las células mucosas mediante los procesos de transporte activo o pasivo. El intestino delgado es el principal punto de absorción.
6. **Defecación.** La defecación es la eliminación de los residuos indigeribles del tracto GI a través del ano en forma de heces.

Algunos de estos procesos son realizados por un solo órgano. Por ejemplo, sólo ingiere la boca, y sólo defeca el intestino grueso. No obstante, la mayoría de las actividades del sistema digestivo se producen poco a poco a medida que el alimento se mueve a lo largo del tracto GI. Así, en un sentido, el tracto digestivo puede verse como una "línea de desmontaje" en la que el alimento va de una fase de procesamiento a la siguiente, y sus nutrientes quedan a disposición de las células del organismo durante su recorrido.

Un punto que hemos destacado a lo largo de este libro ha sido el esfuerzo del organismo para mantener un entorno interno constante, especialmente en el ámbito de la homeostasis de la sangre, que entra en contacto directo con todas las células del organismo. No obstante, el sistema digestivo crea un entorno óptimo para funcionar por sí mismo en la luz (cavidad) del tubo digestivo, una zona que está realmente *fuera* del cuerpo. Las situaciones en dicha luz se controlan de modo que los procesos digestivos se produzcan con eficacia.

La actividad digestiva está controlada en su mayor parte por los reflejos a través de la división parasimpática del sistema nervioso autónomo. (Recuerda que en el Capítulo 7 indicamos que se trata de la parte de "reposo y digestión".) Los sensores (mecanorreceptores, quimiorreceptores) implicados en estos reflejos se sitúan en las paredes de los órganos del tubo digestivo y responden a varios estímulos, el más importante de los cuales es una expansión del órgano por la comida que se encuentra en su luz, el pH del contenido, y la presencia de determinados productos descompuestos de la digestión. Cuando se activan estos receptores, inician reflejos que activan o inhiben (1) las glándulas que secretan jugos digestivos en la luz u hormonas en la sangre y (2) los músculos lisos de la capa muscular que mezcla e impulsa los alimentos a lo largo del tracto gastrointestinal.



*Los oligosacáridos constan de unos pocos monosacáridos unidos.

FIGURA 14.13 **Diagrama de la digestión química y la absorción de productos alimentarios.**

Ahora que hemos resumido algunos puntos que se aplican a la función de los órganos digestivos como grupo, estamos preparados para fijarnos en sus capacidades especiales.

Actividades que se producen en la boca, la faringe y el esófago

Ingestión y descomposición de los alimentos

Una vez que los alimentos están en la boca, se inicia la digestión mecánica y química. En primer lugar, el alimento se descompone *físicamente* en partículas más pequeñas mediante la masticación. A continuación, a medida que el alimento se mezcla con la saliva, la amilasa salivar inicia la digestión *química* del almidón, de modo que lo descompone en maltosa (véase la Figura 14.13). La próxima vez que comas un trozo de pan, mastícalo durante unos cuantos minutos antes de tragarlo. Notarás que empieza a saber dulce ya que se liberan los azúcares.

Normalmente, la saliva se secreta continuamente para mantener húmeda la boca; pero, cuando los alimentos entran en la boca, se secreta una cantidad mayor. Sin embargo, la simple presión de cualquier cosa que se pone en la boca y se mastica, como el regaliz o los chicles sin azúcar, también estimula la liberación de saliva. Algunos estímulos emocionales también pueden provocar la salivación. Por ejemplo, el mero pensamiento de un helado con chocolate caliente hará que muchos saliven. Todos estos reflejos, aunque se inician mediante estímulos distintos, se realizan a través de las fibras parasimpáticas de los nervios craneales V y IX.

Básicamente, en la boca no se produce la absorción de ningún alimento. (No obstante, algunos fármacos como la nitroglicerina se absorben fácilmente a través de la mucosa oral). La faringe y el esófago carecen de funciones digestivas; simplemente proporcionan las vías para transportar los alimentos al siguiente punto de procesamiento (el estómago).

Impulsión de los alimentos: deglución y peristalsis

Para que el alimento sea transportado desde la boca, debe tragarse primero. La **deglución** (o la acción de **tragar**), es un proceso complejo que implica la actividad coordinada de varias estructuras (lengua, paladar blando, faringe y esófago). Cuenta con dos fases principales. La primera fase, la **fase bucal** voluntaria, se produce en la boca. Una vez que el alimento se ha masticado y se ha mezclado bien con la saliva, la lengua lleva el bolo (masa de alimento) hasta la faringe. A medida que el alimento entra en la faringe, queda fuera de nuestro control y pasa al terreno de la actividad de los reflejos.

La segunda fase, la **fase faringoesofágica,** transporta el alimento a través de la faringe y el esófago. La división parasimpática del sistema nervioso autónomo (principalmente los nervios vagos) controla esta fase y promueve la movilidad de los órganos digestivos de este punto en adelante. Todas las rutas que puede tomar el alimento, excepto la ruta distal correcta en el tracto digestivo, se boquean. La lengua bloquea la boca, y el paladar blando cierra las vías nasales. La laringe se eleva, de modo que su abertura (en las vías respiratorias) queda cubierta por la epiglotis, que tiene forma de colgajo. El alimento se mueve a través de la faringe y, a continuación, por el esófago, mediante las contracciones peristálticas a modo de ondas de sus paredes musculares; primero se contraen los músculos longitudinales y, a continuación, los músculos circulares. Los sucesos del proceso de deglución se muestran en la Figura 14.14.

Si intentamos hablar mientras tragamos, nuestro mecanismos de conducción pueden "confundirse" y es posible que el alimento entre en las vías respiratorias. Esto activa entonces otro reflejo protector (la tos) durante el cual el aire sube hacia arriba desde los pulmones para intentar expulsar los alimentos.

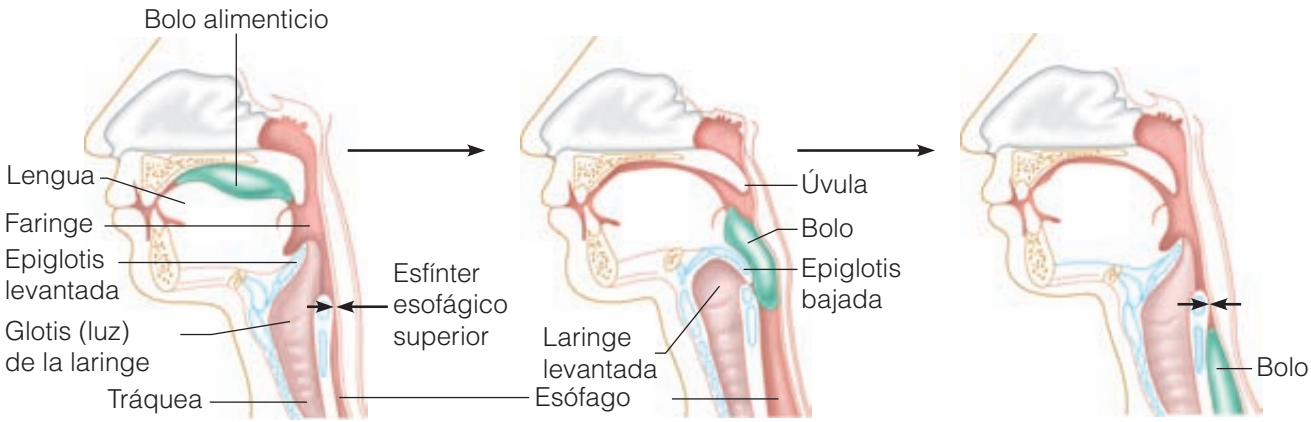
Una vez que el alimento alcanza el extremo distal del esófago, presiona el esfínter cardioesofágico, lo que hace que se abra y que el alimento entre en el estómago. El movimiento de los alimentos a través de la faringe y el esófago es tan automático que una persona puede tragar y los alimentos llegarán hasta el estómago incluso aunque esté haciendo el pino. La gravedad no forma parte del transporte del alimento una vez que éste ha abandonado la boca, lo cual explica el motivo por el que los astronautas pueden tragar y nutrirse a una gravedad cero en el espacio exterior.

Actividades del estómago

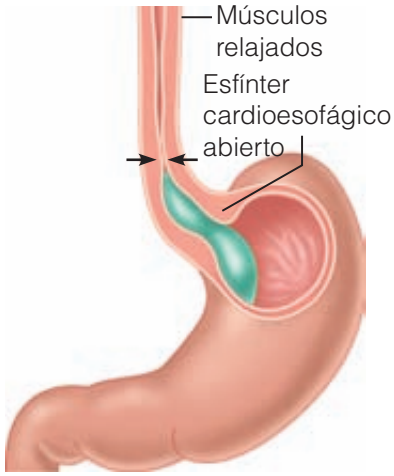
Descomposición de los alimentos

La secreción de **jugo gástrico** se regula mediante los factores neural y hormonal. La vista, el olfato y el gusto de los alimentos estimulan los reflejos del sistema nervioso parasimpático, lo que aumenta la secreción de jugo gástrico por parte de las glándulas estomacales. Además, la presencia de alimento y el aumento del pH en el estómago estimulan las células estomacales para que liberen la hormona **gastrina.** La gastrina impulsa a las glándulas estomacales para que produzcan incluso más enzimas de digestión de proteínas (pepsinógenos), mucosidad y ácido clorhídrico. En condiciones normales, se producen entre dos y tres litros de jugo gástrico al día.

El ácido clorhídrico hace que el contenido del estómago sea muy ácido. Esto es un tanto peligroso, porque tanto el ácido clorhídrico como las enzimas de digestión de proteínas pueden digerir el propio estómago, de modo que se produzcan *úlceras* (véase el cuadro "Más



(a) Esfínter esofágico superior contraído **(b) Esfínter esofágico superior relajado** **(c) Esfínter esofágico superior contraído**



(d) Esfínter cardioesofágico relajado

FIGURA 14.14 **Deglución. (a)** La lengua empuja el bolo alimenticio posteriormente y contra el paladar blando. **(b)** El paladar blando se eleva para cerrar las vías nasales a medida que el bolo entra en la faringe. La laringe sube de modo que la epiglotis cubra su abertura a medida que la peristalsis transporta el alimento a través de la faringe y al esófago. El esfínter esofágico superior se relaja para permitir la entrada del alimento. **(c)** El esfínter esofágico superior se contrae de nuevo para que la laringe y la epiglotis vuelvan a sus posiciones anteriores y la peristalsis mueve el bolo alimenticio inferiormente hasta el estómago. **(d)** El esfínter cardioesofágico se abre, y el alimento entra en el estómago.

de cerca" de las págs. 488-489). Sin embargo, mientras se produzca suficiente mucosidad, el estómago estará "seguro" y no correrá riesgo de dañarse.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En ocasiones, el esfínter cardioesofágico no puede cerrarse firmemente y el jugo gástrico vuelve a subir por el esófago, que posee una escasa protección mucosa. Esto produce un dolor característico conocido como **pirosis,** que, si no se corrige, hace que se inflame el esófago **(esofagitis)** e incluso puede que se produzcan úlceras en el esófago. Una causa común es la **hernia hiatal,** una anomalía estructural en la cual la parte superior del esófago sobresale ligeramente por encima del diafragma. Puesto que el diafragma deja de reforzar el esfínter cardioesofágico, que es un esfínter débil para empezar, el jugo gástrico recorre el esófago desprotegido. El tratamiento conservador implica la restricción de la absorción de alimentos después de cada cena, mediante la toma de antiácidos, y dormir con la cabeza elevada. ▲

El entorno extremadamente ácido que proporciona el ácido clorhídrico es necesario, por que activa el **pepsinógeno** en **pepsina,** la enzima de la digestión de las proteínas. La *renina,* la segunda enzima de la digestión de proteínas que produce el estómago, trabaja principalmente sobre la proteína de la leche y la convierte en una sustancia que parece leche agria. Muchas madres piensan erróneamente que cuando sus bebés escupen una sustancia cuajada después de haber tomado el biberón es porque la leche se les ha agriado en el estómago. La renina la producen muchos bebés, pero se cree que los adultos no.

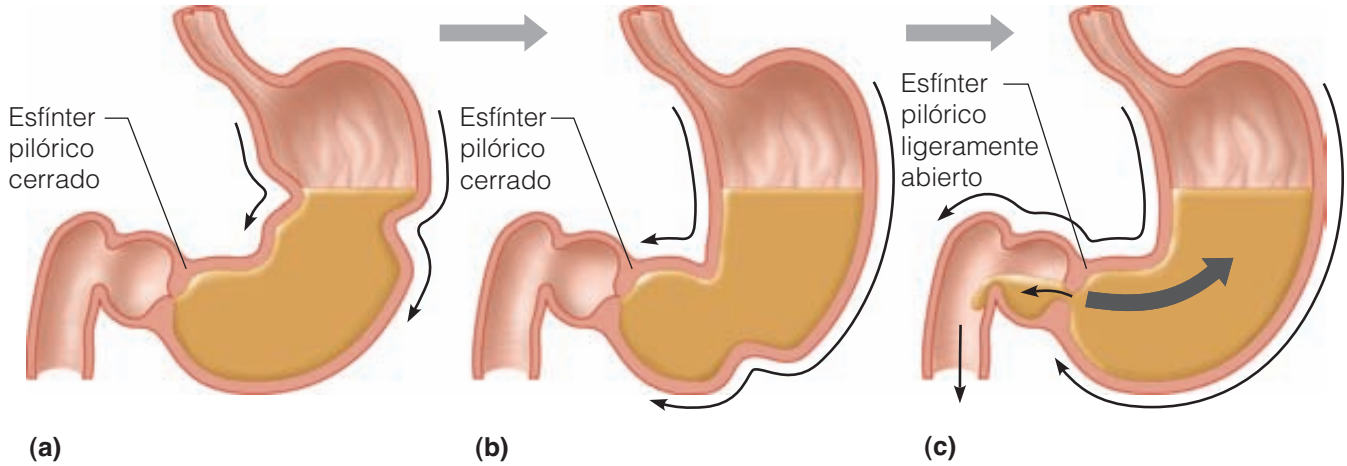


FIGURA 14.15 Las ondas peristálticas actúan principalmente en la parte inferior del estómago para mezclar y mover el quimo a través de la válvula pilórica. (a) Las ondas peristálticas se mueven hacia el píloro. **(b)** La peristalsis y la acción de mezcla más enérgicas se producen cerca del píloro. **(c)** La terminación pilórica del estómago actúa como una bomba que reparte pequeñas cantidades de quimo en el duodeno mientras fuerza a la mayor parte de este material hacia atrás en el estómago, donde sigue mezclándose.

Además del comienzo de la digestión de las proteínas, se produce una pequeña digestión química en el estómago. Exceptuando la Aspirina® y el alcohol (que parecen tener un "paso especial"), prácticamente no se produce absorción a través de las paredes estomacales.

A medida que el alimento entra en el estómago y lo llena, su pared empieza a estrecharse (al mismo tiempo que se secretan los jugos gástricos, como acabamos de describir). A continuación, las tres capas musculares de la pared del estómago se activan. Comprimen y vapulean el alimento, para descomponerlo físicamente, mezclando continuamente el alimento con el jugo gástrico que contiene enzimas, de modo que se forma el quimo semilíquido. El proceso se parece a la preparación de la masa de una tarta, donde se mezcla harinosa se pliega repetidamente sobre sí misma y se mezcla con el líquido hasta que alcanza una textura uniforme.

Propulsión de los alimentos

Una vez que se ha mezclado bien el alimento, comienza una vigorosa peristalsis en la mitad superior del estómago, y las contracciones se vuelven más fuertes a medida que el alimento se acerca a la válvula pilórica. El píloro del estómago, que soporta unos 30 ml de quimo, actúa como un contador que sólo permite el paso de líquidos y partículas muy pequeñas a través del esfínter pilórico (Figura 14.15). Puesto que el esfínter pilórico apenas se abre, cada contracción del músculo estomacal lanza 3 ml de quimo o menos en el intestino delgado. La contracción también *cierra* la válvula, así que el resto (unos 27 ml) se impulsa hacia atrás en el estómago para mezclarse más.

Cuando el duodeno se llena de quimo y se estrecha su pared, se produce un reflejo nervioso, el *reflejo enterogástrico*. Este reflejo "frena" la actividad gástrica y ralentiza el vaciado del estómago inhibiendo los nervios vagos y estrechando el esfínter pilórico, de modo que da tiempo a que se realice el procesamiento intestinal. En general, el estómago tarda unas cuatro horas en vaciarse por completo después de que la persona haya consumido una comida equilibrada, y seis horas o más si la comida es rica en grasas.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La irritación local del estómago, como sucede con el envenenamiento alimentario bacteriano, puede activar el *centro emético* del cerebro (médula). El centro emético, por su parte, provoca **vómitos (emesis).** Estos vómitos son esencialmente una peristalsis invertida que se produce en el estómago (y quizás en el intestino delgado), y van acompañados de la contracción de los músculos abdominales y el diafragma, que aumenta la presión en los órganos abdominales. El centro emético también puede activarse de otras formas; por ejemplo, por las molestias del aparato del equilibrio del oído interno durante un viaje en barco por aguas revueltas. ▲

MÁS DE CERCA

ÚLCERAS PÉPTICAS: "ALGO ME ESTÁ COMIENDO"

Aurelio, de 53 años, trabajador de una fábrica, empezó a experimentar ardores en el abdomen superior una hora o dos después de cada comida. Al principio, culpaba a la mala calidad de la comida casera, pero experimentaba los mismos síntomas después de comer en la cafetería de la fábrica o en los restaurantes. Aurelio siempre respondía al estrés bebiendo y fumando mucho, y su dolor abdominal empeoró notablemente durante una agitada semana en la que estuvo trabajando 15 horas extra. Tras dos meses de creciente dolor intenso, Aurelio consultó a su médico y éste le diagnosticó una úlcera péptica.

Las úlceras pépticas afectan a uno de cada ocho estadounidenses. Una úlcera péptica es una erosión similar a un cráter en la mucosa de cualquier parte del tracto gastrointestinal (GI) expuesto al ácido clorhídrico y a las secreciones de pepsina del estómago; véase la foto (a). Unas cuantas úlceras pépticas se producen en el esófago inferior, siguiendo el reflejo del contenido del estómago, pero la mayoría (el 98%) se produce en la parte pilórica del estómago (úlceras gástricas) o en la primera parte del duodeno (úlceras duodenales). Las úlceras duodenales son casi tres veces más comunes que las úlceras gástricas. Las úlceras pépticas pueden aparecer a cualquier edad, pero se desarrollan con mayor frecuencia entre los 50 y 70 años. Después de desarrollarse, tienden a recurrir (se curan y después vuelven a producirse periódicamente) durante el resto de la vida si no se tratan.

Las úlceras gástricas y duodenales pueden producir un dolor persistente o ardor en la zona epigástrica del abdomen. Este dolor suele comenzar entre una y tres horas después de comer (o despiertan al individuo por las noches) y habitualmente se alivia al comer. Otros síntomas incluyen pérdida de apetito, hinchazón, náuseas y vómitos. Sin embargo, no todas las personas con úlceras experimentan los síntomas indicados con anterioridad, y algunas no muestran ningún síntoma.

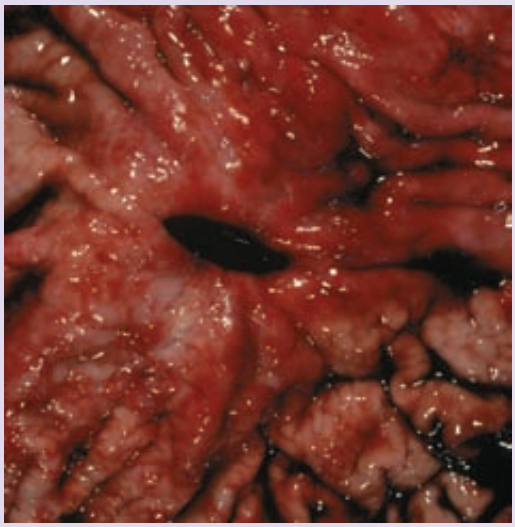
> *"Las úlceras pépticas pueden producir graves complicaciones."*

Tradicionalmente, el "conocimiento común" sostiene que el estrés provoca úlceras, y que el paciente con úlceras estereotípicas era el ejecutivo sobrecargado de trabajo. Los estudios recientes no han sido capaces de demostrar ninguna asociación causal entre el estrés y las úlceras. Sin embargo, parece que un estilo de vida estresante *puede agravar* las úlceras existentes. Estudios recientes indican que la mayoría de las úlceras (entre el 90 y el 100% de las úlceras duodenales y entre el 80 y el 90% de las úlceras gástricas) realmente son la causa de una cepa de bacterias resistentes al ácido *(Helicobacter pylori)* que habitan en los estómagos del 40% de las personas sanas y del 70-90% de aquellas con úlceras; véase la foto (b).

La anatomía de una úlcera péptica se muestra en la foto (a) de la página siguiente. Suele tratarse de un cráter redondo, muy definido, de entre 1 y 4 cm de diámetro en la mucosa. La base de la úlcera contiene células de tejido muerto, tejido de granulación y tejido cicatrizante. Los vasos sanguíneos erosionados también pueden verse allí en ocasiones.

Las úlceras pépticas pueden producir graves complicaciones. Aproximadamente en el 20% de los casos, los vasos sanguíneos erosionados sangran en el tracto GI, lo que provoca vómitos de sangre y presencia de sangre en las heces. En tales casos, la anemia puede ser el resultado de una intensa pérdida de sangre. En el 5-10% de los pacientes, la cicatrización en el estómago obstruye la abertura pilórica, de modo que se bloquea la digestión. En torno al 5% de las úlceras pépticas se *perforan,* lo que hace que el contenido del estómago y del duodeno salga a la cavidad peritoneal. Esto puede provocar peritonitis o la digestión y destrucción del páncreas cercano. Una úlcera perforada es potencialmente mortal.

En vez de estas complicaciones potenciales, la mayoría de las úlceras pépticas sanan con rapidez y responden bien al tratamiento. Los primeros pasos del tratamiento son evitar el tabaco, el alcohol (especialmente el vino), el ibuprofeno y la Aspirina®, que agravan las úlceras. Los fármacos antiácidos suelen recomendarse para neutralizar los ácidos estomacales. En las úlceras que se han encontrado colonizadas por la *H. pylori,* con forma de espiral, el objetivo es matar a las bacterias incrustadas. Un simple régimen de antibióticos durante dos semanas cura de forma permanente las úlceras en el 95% de tales pacientes. La medicación adicional que suprime la producción de ácido en el estómago puede combinarse



(a) Lesión por úlcera péptica

(b) Bacterias *H. pylori*

con el tratamiento de antibióticos para acelerar la recuperación.

Las relativamente escasas úlceras pépticas que no están causadas por la *H. pylori* suelen ser el resultado del uso a largo plazo de AINE. Se tratan con fármacos antihistamínicos (como Zantac®) en vez de con antibióticos. Estos fármacos supresores de ácido inhiben el efecto estimulante de la histamina en las células parietales de las glándulas estomacales. El mismo tratamiento se utiliza para las úlceras pépticas *esofágicas* asociadas a la enfermedad por reflujo gastroesofágico.

Recientes ensayos en animales que utilizan una vacuna nueva que se ha desarrollado contra la *H. pylori* han resultado todo un éxito. Se espera que la vacunación preventiva, junto con las curas mediante antibióticos, erradique las úlceras pépticas en los próximos 25 años.

Actividades del intestino delgado

Descomposición y absorción de los alimentos

Los alimentos que llegan hasta el intestino delgado sólo están parcialmente digeridos. La digestión de los hidratos de carbono y de las proteínas se ha iniciado, pero no se ha digerido prácticamente ninguna grasa hasta este momento. Aquí, el proceso de digestión química se acelera a medida que los alimentos realizan un turbulento recorrido de entre tres y seis horas a través de bobinas en bucle y partes enroscadas del intestino delgado. En este momento, cuando el alimento llega hasta el final del intestino delgado, se ha completado la digestión y se ha producido casi toda la absorción de alimentos.

Como se ha mencionado con anterioridad, las microvellosidades de las células del intestino delgado llevan unas cuantas enzimas importantes, las denominadas **enzimas de bordes ciliados,** que descomponen los azúcares dobles en azúcares simples y completan la digestión de las proteínas (véase la Figura 14.13). El propio *jugo intestinal* es relativamente escaso en enzimas, y el moco protector es probablemente la secreción más importante de las glándulas intestinales. Sin embargo, los alimentos que entran en el intestino delgado están li-

TABLA 14.1 Hormonas y productos similares a las hormonas que actúan en la digestión

Hormona	Fuente	Estímulo de la secreción	Acción
Gastrina	Estómago	Alimento del estómago (estímulo químico); ACH liberado por las fibras nerviosas	• Estimula la liberación de jugo gástrico • Estimula el vaciado del estómago
Gastrina intestinal	Duodeno	Alimento ácido en el estómago	• Estimula la secreción y el vaciado gástricos
Histamina	Estómago	Alimento en el estómago	• Activa las células parietales para secretar ácido clorhídrico
Somatostatina	Estómago y duodeno	Alimento en el estómago; estimulado por las fibras nerviosas simpáticas	• Inhibe la secreción de los jugos gástrico y pancreático • Inhibe el vaciado del estómago y de la vesícula biliar
Secretina	Duodeno	Quimo ácido y alimentos parcialmente digeridos en el duodeno	• Aumenta la producción de jugo pancreático rico en iones de bicarbonato • Aumenta la producción de bilis por parte del hígado • Inhibe la movilidad gástrica y la secreción de las glándulas gástricas.
Colecistoquinina (CCK)	Duodeno	Quimo graso y proteínas parcialmente digeridas en el duodeno	• Aumenta la producción de jugo pancreático rico en enzimas • Estimula a la vesícula biliar para que expulse la bilis almacenada • Relaja el esfínter de las papilas duodenales para permitir que la bilis y el jugo pancreático entren en el duodeno
Péptido inhibidor gástrico (GIP)	Duodeno	Quimo graso en el duodeno	• Inhibe la secreción de jugo gástrico

teralmente inundados de **jugo pancreático** rico en enzimas transportado desde el páncreas, así como la bilis del hígado.

El jugo pancreático contiene enzimas que (1), junto con las enzimas de bordes ciliados, completan la digestión de almidón *(amilasa pancreática);* (2) realizan aproximadamente la mitad de la digestión de proteínas (a través de la acción de la *tripsina,* la *quimotripsina,* la *carboxipeptidasa* y otras); (3) son totalmente responsables de la digestión de las grasas, ya que el páncreas es esencialmente la única fuente de *lipasas;* y (4) digieren los ácidos nucleicos *(nucleasas).*

Además de las enzimas, el jugo pancreático contiene un rico suministro de bicarbonato, que lo hace muy básico (en torno a un pH 8). Cuando el jugo pancreático alcanza el intestino delgado, neutraliza el quimo ácido procedente del estómago y proporciona el entorno adecuado para la activación y la actividad de las enzimas digestivas intestinales y pancreáticas.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La **pancreatitis** es una inflamación del páncreas rara, pero extremadamente grave que es consecuencia de la activación de las enzimas pancreáticas del conducto pancreático. Puesto que las enzimas pancreáticas descomponen todas las categorías de moléculas biológicas, producen la digestión del tejido y del conducto pancreático. Esta dolorosa enfermedad puede provocar carencias nutricionales, ya que las enzimas pancreáticas son esenciales para la digestión en el intestino delgado. ▲

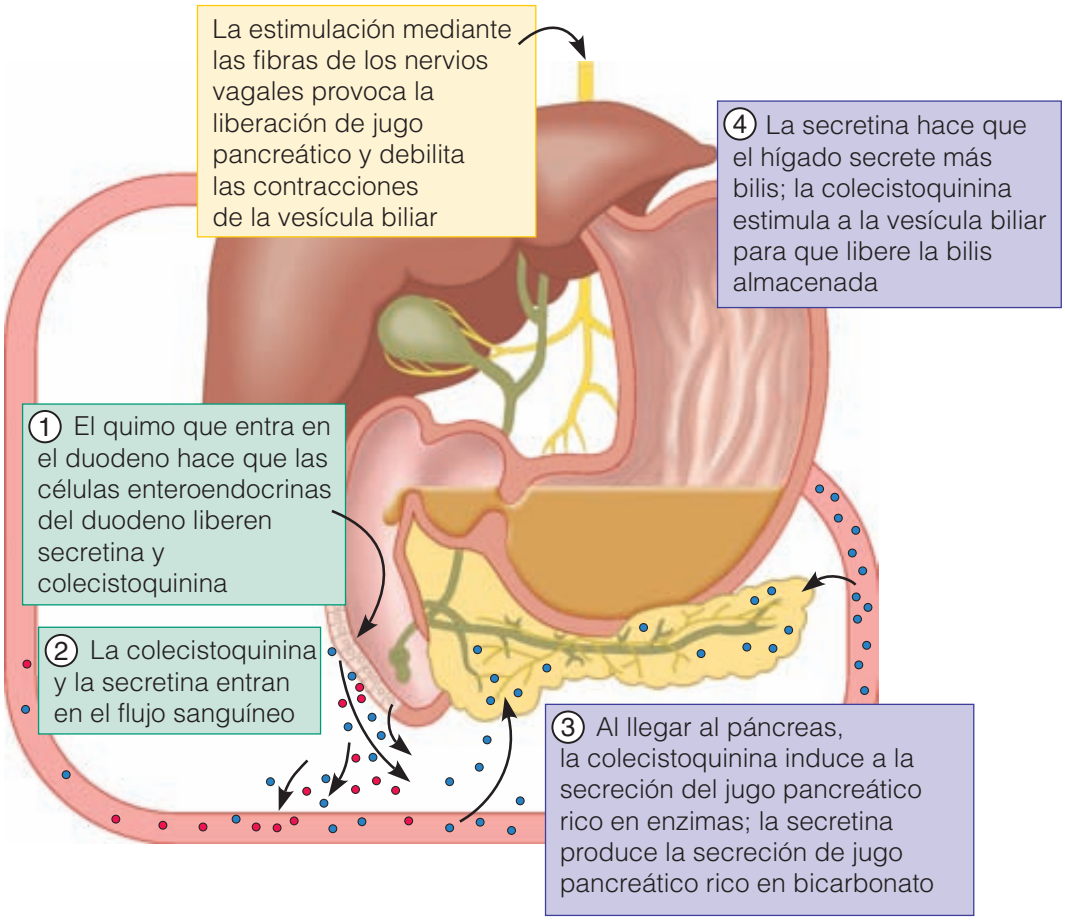


FIGURA 14.16 Regulación de la secreción de jugo pancreático.
Los controles hormonales, ejercidos por la secretina y la colecistoquinina (pasos 1-3), son los principales factores reguladores. El control neural está mediado por los nervios vagos.

La liberación de jugo pancreático en el duodeno se estimula mediante los nervios vagos y las hormonas locales. Cuando el quimo entra en el intestino delgado, estimula a las células de la mucosa para que produzcan varias hormonas (Tabla 14.1). Dos de estas hormonas, la **secretina** y la **colecistoquinina (CCK),** influyen en la liberación del jugo pancreático y de la bilis.

Las hormonas entran en la sangre y circulan hasta sus órganos de destino, el páncreas, el hígado y la vesícula biliar. Ambas hormonas trabajan juntas para estimular al páncreas para que libere su producto rico en enzimas y bicarbonato (Figura 14.16). Además, la secretina hace que el hígado aumente su producción de bilis, y la colecistoquinina permite que la vesícula biliar se contraiga y libere la bilis almacenada en el conducto biliar de modo que la bilis y el jugo pancreático entren juntos en el intestino delgado. Como hemos mencionado antes, la bilis no es una enzima. Sin embargo, actúa como un detergente para emulsionar, o descomponer mecánicamente, los grandes glóbulos grasos en miles de glóbulos diminutos, de modo que proporciona una zona superficial mucho mayor para que trabajen las lipasas pancreáticas. La bilis también es necesaria para la absorción de grasas (y otras vitaminas liposolubles [K, D y A] que se absorben junto con ellas) del tracto intestinal.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si la bilis o el jugo pancreático no están presentes, no se realiza la digestión ni la absorción de prácticamente ninguna grasa, y el resultado son unas deposiciones grasas. En tales casos, los problemas de coagulación sanguínea también se producen debido a que el hígado necesita vitamina K para fabricar protrombina, uno de los factores coagulantes. ▲

La absorción de agua y de los productos finales de la digestión se produce a lo largo de todo el intestino delgado. La mayoría de las sustancias se absorbe a través de las membranas plasmáticas de las células intestinales mediante el proceso de *transporte activo*. A continuación, entran en los lechos capilares de las vellosidades para transportarse en sangre al hígado a través de la vena portal hepática. La excepción parecen ser los lípidos, o grasas, que se absorben de forma pasiva a través de un proceso de *difusión*. Los productos de descomposición de los lípidos entran tanto en los lechos capilares como en los quilíferos de las vellosidades y se transportan al hígado a través de la sangre y los fluidos linfáticos.

Al final del íleon, lo único que queda es un poco de agua, material alimentario indigerible (fibra vegetal como la celulosa), así como grandes cantidades de bacterias. Estos desechos entran en el intestino grueso a través de la válvula ileocecal. El proceso completo de digestión y absorción de alimentos se resume en la Figura 14.13 (pág. 484).

Propulsión de los alimentos

Como ya se ha mencionado, la *peristalsis* es el método principal para impulsar los alimentos a través del tracto digestivo. Este proceso incluye ondas de contracción que se desplazan a lo largo del intestino, seguidas por ondas de relajación. El efecto obtenido es que los alimentos se desplazan a través del intestino delgado del mismo modo en que se extrae la pasta de dientes del tubo que la contiene. Los movimientos segmentarios rítmicos provocan constricciones locales del intestino (véase la Figura 14.12b) que mezclan el quimo con los jugos intestinales y ayudan a propulsar los alimentos por el intestino.

Actividades del intestino grueso

Descomposición y absorción de los alimentos

Lo que finalmente llega al intestino grueso contiene pocos nutrientes, pero esos residuos pasarán allí entre 12 y 24 horas más. El colon, por sí mismo, no produce enzimas digestivas. Sin embargo, las bacterias "residentes" que habitan en su luz metabolizan algunos de los nutrientes restantes, liberando gases (metano y sulfuro de hidrógeno) que contribuyen al olor de las heces. Cada día se generan unos 500 ml de gases (flatulencias), una cantidad que aumenta en gran medida al consumir determinados alimentos ricos en hidratos de carbono (como las judías).

Las bacterias que se encuentran en el intestino grueso también generan algunas vitaminas (vitamina K y algunas vitaminas del grupo B). La absorción por parte del intestino grueso se limita a la absorción de estas vitaminas, algunos iones y la mayor parte del agua restante. Las **heces,** el producto más o menos sólido que pasa al recto, contienen residuos de alimentos no digeridos, mucosa, millones de bacterias y la cantidad justa de agua para permitir un tránsito sin problemas.

Propulsión del residuo y defecación

Al detectar residuos de alimentos, el colon comienza a moverse, aunque sus contracciones son lentas o de corta duración. Los movimientos más frecuentes del colon son las **contracciones de los haustros,** que son movimientos lentos que duran alrededor de un minuto y se producen cada 30 minutos, más o menos. Cuando un haustro se llena de residuos alimentarios, la distensión estimula la contracción muscular, lo que propulsa el contenido de la luz hasta el haustro siguiente. Estos movimientos también mezclan los residuos, lo que ayuda a la absorción de agua.

El **movimiento de masa** consiste en oleadas de contracciones lentas pero fuertes que se producen en amplias zonas del colon tres o cuatro veces al día y empujan el contenido hacia el recto. Normalmente se producen durante la comida o justo después de comer, cuando los alimentos comienzan a llenar el estómago y el intestino delgado. La presencia de macroelementos, o fibra, en la dieta aumenta la potencia de las contracciones del colon y suaviza la deposición, permitiendo al colon actuar como una máquina bien engrasada.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando la dieta es baja en macroelementos, el colon se estrecha y los músculos circulares se contraen con más fuerza, lo que aumenta la presión en sus paredes. Esto fomenta la formación de **divertículos** en los que la mucosa sobresale de las paredes del colon, que es una enfermedad denominada **diverticulosis.** La **diverticulitis,** una afección en la que los divertículos se inflaman, puede ser mortal si se producen roturas. ▲

El recto suele estar vacío, pero, cuando las heces se introducen en él a través del movimiento de masa y se estrecha su pared, comienza el reflejo de la deposición. El **reflejo de la deposición** es un reflejo medular (zona del sacro) que permite que las paredes del colon sigmoide y el recto se contraigan y los esfínteres anales se relajen. A medida que las heces se expulsan por el canal anal, el cerebro recibe mensajes que nos dan tiempo para decidir si el esfínter externo debe permanecer abierto o no, para detener el paso de las heces. Si no es conveniente, la defecación (o "movimiento intestinal") puede retrasarse temporalmente. En unos segundos, las contracciones reflejas finalizan y las paredes del recto se relajan. En el siguiente movimiento de masa, vuelve a iniciarse el reflejo de defecación.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las deposiciones líquidas o la **diarrea** son el resultado de una condición que precipita los residuos alimentarios a través del intestino grueso antes de que dicho órgano haya tenido tiempo suficiente para absorber el agua (como ocurre en caso de irritación del colon por parte de bacterias). Como el cuerpo pierde fluidos e iones, una diarrea prolongada puede provocar deshidratación y desequilibrio de electrolitos y, si es grave, puede resultar mortal.

Si los residuos alimentarios permanecen en el intestino grueso durante largos periodos de tiempo, se absorbe demasiada agua y la deposición se endurece y se desplaza con mayor dificultad. Esta condición, denominada **estreñimiento,** puede deberse a la falta de fibra en la dieta, a malos hábitos intestinales ("falta de respuesta ante los estímulos"), así como al uso abusivo de laxantes. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

11. ¿En qué se diferencia la digestión mecánica de la digestión química?
12. ¿Cuáles son los principales bloques (y productos de digestión) de las proteínas?
13. ¿Cuál es el orden adecuado de las siguientes etapas de procesamiento de los alimentos: defecación, absorción, digestión, ingestión?
14. ¿Por qué es necesario que el contenido del estómago sea tan ácido?
15. ¿Qué se quiere decir cuando se afirma que el alimento "se ha ido por el otro lado"?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE II: NUTRICIÓN Y METABOLISMO

Aunque a veces pueda parecer que la gente puede dividirse en dos grupos (los que viven para comer y los que comen para vivir), todos debemos reconocer la vital importancia de los alimentos. Se dice que "eres lo que comes", y es una afirmación cierta en el sentido de que una parte de la comida que ingerimos se convierte en parte de nuestro organismo. En otras palabras, una determinada parte de los nutrientes se emplea para crear estructuras y moléculas celulares, y para sustituir elementos desgastados. Sin embargo, la mayor parte de los alimentos se emplea como combustible metabólico. Es decir, se oxida y se transforma en **ATP,** la forma de energía química que necesitan las células del organismo para llevar a cabo sus múltiples actividades. El valor energético de los alimentos se mide en unidades denominadas **kilocalorías (kcal)** o calorías (con C mayúscula) que quienes están a dieta cuentan con sumo cuidado.

Sólo hemos tenido en cuenta cómo se digieren y absorben los alimentos. Pero, ¿qué pasa con éstos una vez que entran en el torrente sanguíneo? ¿Por qué debemos consumir pan, carne y verduras frescas? ¿Por qué parece que todo lo que comemos se convierte en grasa? Daremos respuesta a estas preguntas en esta sección.

Nutrición

Un **nutriente** es una sustancia presente en los alimentos que emplea el organismo para favorecer su crecimiento, mantenimiento y reparación habituales. Se dividen en seis categorías. Los **nutrientes esenciales** (hidratos de carbono, lípidos y proteínas) constituyen la mayor parte de lo que ingerimos. Los **nutrientes secundarios** (vitaminas y minerales), aunque igual de importantes para la salud, se necesitan en cantidades menores. El agua, que constituye alrededor del 60% del volumen de alimentos que consumimos, también se considera esencial. Sin embargo, como su importancia como disolvente y en muchas otras facetas del funcionamiento del organismo se describe en el capítulo 2, aquí sólo se referirán las otras cinco clases de nutrientes.

La mayoría de los alimentos contiene una combinación de nutrientes. Por ejemplo, un cuenco de crema de setas contiene todos los nutrientes esenciales, además de algunas vitaminas y minerales. Una dieta compuesta por alimentos seleccionados de cada uno de los cinco grupos de alimentos (Tabla 14.2), es decir, cereales, frutas, verduras, carne y pescado, así como productos lácteos, suele garantizar la ingesta de cantidades adecuadas de todos los nutrientes necesarios.

Los diversos tipos de pirámides alimentarias que se han desarrollado presentan información más detallada. La versión más reciente, elaborada por el departmento de Agricultura de EE.UU. en 2005 (MyPyramid), supone un cambio significativo con respecto a las pirámides alimentarias tradicionales (Figura 14.17). MyPyramid divide las categorías de alimentos verticalmente. El estrechamiento de cada grupo de alimentos de abajo a arriba sugiere moderación a la hora de elegir alimentos de cada grupo (hay más "opciones" en la parte inferior de la franja alimentaria, que contienen menos azúcares añadidos y grasas sólidas). Otro aspecto novedoso de esta versión de la pirámide alimentaria es la importancia que se da a un mínimo de 30 minutos diarios de actividad física, que se representa mediante una persona que sube escalones. Es importante el hecho de que se puede personalizar la dieta en función de la edad, el sexo y el nivel de actividad a través de Internet (www.mypyramid.gov), donde se halla información que permite a los consumidores realizar elecciones saludables.

TABLA 14.2 Cinco grupos básicos de alimentos y algunos de sus nutrientes principales

Grupo	Ejemplos de alimentos	Nutrientes principales suministrados en cantidades significativas: Por todos los alimentos del grupo	Nutrientes principales suministrados en cantidades significativas: Sólo por algunos de los alimentos del grupo
Frutas	Manzanas, plátanos, dátiles, naranjas, tomates	Hidratos de carbono Agua	Vitaminas: A, C, ácido fólico Minerales: hierro, potasio Fibra
Vegetales	Brócoli, calabaza, judías verdes, lechuga, patatas	Hidratos de carbono Agua	Vitaminas: A, C, E, K y vitaminas del grupo B, excepto B_{12} Minerales: calcio, magnesio, yodo, manganeso, fósforo Fibra
Productos a base de cereales (preferiblemente integrales; si no es así, enriquecidos)	Panes, bollos, rosquillas; cereales, secos y cocinados; pasta; arroz, otros granos; tortas, crepes, gofres; galletas; palomitas de maíz	Hidratos de carbono Proteínas Vitaminas: tiamina (B_1), niacina	Agua Fibra Minerales: hierro, magnesio, selenio
Productos lácteos	Leche, yogur; queso; helado, sorbete de leche, yogurt helado	Proteínas Grasas Vitaminas: riboflavina, B_{12} Minerales: calcio, fósforo Agua	Hidratos de carbono Vitaminas: A, D
Carnes y alternativas a la carne	Carne, pescado, pollo; huevos; pipas; nueces, mantequillas de frutos secos; brotes de soja, tofu; otras legumbres (guisantes y judías)	Proteínas Vitaminas: niacina, B_6 Minerales: hierro, zinc	Hidratos de carbono Grasas Vitaminas: B_{12}, tiamina (B_1) Agua Fibra

Fuente: Christian, Janet y Janet Greger. *Nutrition for Living,* 3rd ed. San Francisco, CA: Benjamin Cummings, 1991.

Fuentes alimentarias de los nutrientes esenciales

Hidratos de carbono

Exceptuando el azúcar de la leche (lactosa) y pequeñas cantidades de glucógeno en la carne, todos los **hidratos de carbono** (azúcares y féculas) que ingerimos proceden de las plantas. Los azúcares provienen, sobre todo, de las frutas, del azúcar de caña y de la leche. El almidón (polisacáridos) se encuentra en los cereales, las legumbres y los tubérculos. La celulosa (polisacáridos), que abunda en la mayoría de las verduras, no es digerible, pero suministra fibra, que aumenta el movimiento de las heces y ayuda a la defecación.

Lípidos

Aunque también ingerimos colesterol y fosfolípidos, la mayoría de los **lípidos** alimentarios son triglicéridos **(grasas neutras).** Ingerimos grasas saturadas en productos animales, como carne y alimentos lácteos, así como en algunos productos vegetales, como el coco. Las grasas no saturadas se encuentran en las semillas, los frutos secos y muchos aceites vegetales. Las mayores fuentes de colesterol son la yema de huevo, la carne y la leche.

Proteínas

Los productos animales contienen las **proteínas** de más alta calidad, moléculas que son básicamente polímeros

de aminoácidos. Los huevos, la leche, el pescado y casi todas las proteínas de la carne son *proteínas completas* que cubren todas las necesidades de aminoácidos del organismo para el mantenimiento y el crecimiento tisular. Las legumbres (judías y guisantes), los frutos secos y los cereales también son ricos en proteínas, pero dichas proteínas son incompletas nutricionalmente porque tienen niveles bajos de uno o más aminoácidos esenciales. Los **aminoácidos esenciales** son los ocho (diez en los lactantes) aminoácidos que el organismo no puede producir y que se deben adquirir mediante la dieta. Como puedes ver, los vegetarianos deben planificar cuidadosamente su dieta para obtener todos los aminoácidos esenciales y prevenir la malnutrición proteínica. Las semillas de cereales y las legumbres, cuando se consumen combinados, ofrecen los aminoácidos necesarios, y se pueden encontrar algunas de estas combinaciones en las dietas de todas las culturas (el ejemplo más claro son el arroz y las judías que se pueden observar en casi cualquier plato de un restaurante mexicano).

Vitaminas

Las **vitaminas** son nutrientes orgánicos con diferentes formas que necesita el organismo en cantidades pequeñas. Aunque las vitaminas se puedan detectar en todos los principales grupos de alimentos, no hay ninguno que contenga todas las vitaminas necesarias. Por lo tanto, una dieta equilibrada es la mejor opción para asegurar un complemento vitamínico total, en especial porque algunas vitaminas (A, C y E) parecen tener efectos anticancerígenos. Parece ser que las dietas ricas en brócoli, repollo y coles de Bruselas cocidos (todos ellos ricos en vitamina A y C) reducen el riesgo de padecer cáncer. Sin embargo, existe una controversia acerca de las capacidades milagrosas de las vitaminas.

Casi todas las vitaminas funcionan como **coenzimas** (o partes de coenzimas), es decir, actúan con una enzima para alcanzar un determinado tipo de catálisis.

Minerales

El organismo también necesita un aporte adecuado de siete **minerales** (es decir, sustancias inorgánicas entre las que se incluyen el calcio, el fósforo, el potasio, el sulfuro, el sodio, el cloruro y el magnesio) y muy pequeñas cantidades de alrededor de una docena de otros minerales.

Las grasas y los azúcares casi no tienen minerales, mientras que los cereales y las semillas tienen muy pocos. Los alimentos más ricos en minerales son las verduras, las legumbres, la leche y algunas carnes.

Los principales usos en el organismo de los nutrientes más importantes se detallan en la sección dedicada al metabolismo. En el Apéndice C se describen con detalle algunos usos importantes de las vitaminas y los minerales en el organismo.

FIGURA 14.17 **Pirámide alimenticia de USDA.**

¿LO HAS ENTENDIDO?

16. ¿Cuál es la mayor fuente de hidratos de carbono en nuestra dieta?
17. ¿Por qué es importante incluir celulosa en una dieta saludable aunque no podamos digerirla?
18. ¿Los aceites son grasas saturadas o insaturadas?
19. ¿Cuál es el papel más importante que desempeñan las vitaminas en el organismo?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Metabolismo

Metabolismo (*metabol* = cambio) es un término amplio que hace referencia a todas las reacciones químicas que son necesarias para mantener la vida. Incluye el **catabolismo,** en el que las sustancias se descomponen en sustancias más simples, y el **anabolismo,** en el que se forman estructuras o moléculas más grandes a partir de otras más pequeñas. Durante el catabolismo, la energía de los alimentos se libera y queda capturada para generar ATP, una molécula rica en energía empleada para suministrar energía a todas las actividades celulares, incluidas las reacciones catabólicas (Figura 14.18).

Las células del organismo no procesan del mismo modo todos los productos alimentarios. Por ejemplo, los hidratos de carbono, en especial la glucosa, se suelen descomponer para crear ATP. Las grasas se emplean para construir membranas celulares, crear vainas mielínicas, así como para aislar al organismo mediante una capa de grasa. También se emplean como principal combustible energético del organismo para crear ATP

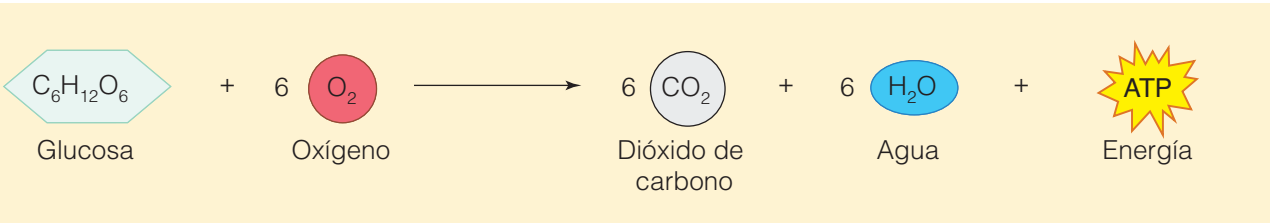


FIGURA 14.18 **Resumen de la ecuación de la respiración celular.**

cuando no se produce una ingesta adecuada de hidratos de carbono en la dieta. Las proteínas se suelen almacenar cuidadosamente (incluso se atesoran) en las células del organismo. Es fácil de entender si se tiene en cuenta que las proteínas son el principal material empleado para crear estructuras celulares.

Metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y las proteínas en las células del organismo

Metabolismo de los hidratos de carbono

Al igual que una caldera utiliza aceite (su combustible) para producir calor, las células del organismo emplean los hidratos de carbono para producir energía celular (ATP). La **glucosa,** también denominada **azúcar en sangre,** es el producto más empleado para la digestión de los hidratos de carbono. La glucosa también es el principal combustible para crear ATP en la mayoría de las células del organismo. El hígado es la excepción, ya que suele emplear también grasas, cediendo así la glucosa a otras células. A grandes rasgos, la glucosa se descompone pieza por pieza, y parte de la energía química liberada cuando se rompen sus enlaces se emplea para unir fosfatos a moléculas de ADP para crear ATP.

La reacción general se resume en la Figura 14.18. Los átomos de carbono liberados abandonan las células como dióxido de carbono y los átomos de hidrógeno eliminados (que contienen electrones ricos en energía) se pueden combinar con oxígeno para formar agua. Estos usos del oxígeno se suelen denominar en su conjunto **respiración celular.** Los sucesos de las tres principales rutas metabólicas (*glucólisis*, el *ciclo de Krebs* y la *cadena respiratoria*) se muestran en la Figura 14.19.

La oxidación a través de la eliminación de los átomos de hidrógeno (que se transfieren temporalmente a coenzimas que contienen vitaminas) es un cometido principal de la glucólisis y del ciclo de Krebs. La **glucólisis** también suministra energía a cada molécula de glucosa para que se pueda dividir en dos moléculas de ácido pirúvico y producir una pequeña cantidad de ATP en el proceso (Figura 14.19). El **ciclo de Kreb,** o de los ácidos tricarboxílicos, produce virtualmente todo el dióxido de carbono y el agua resultantes de la respiración celular. Al igual que la glucólisis, produce una pequeña cantidad de ATP al transferir grupos de fosfatos ricos en energía directamente de sustancias fosforiladas a ADP. El oxígeno libre no está implicado en el proceso.

La **cadena respiratoria** es donde se produce la acción para la producción de ATP. Los átomos de hidrógeno extraídos durante las dos primeras fases metabólicas se cargan con energía. Estos hidrógenos se transportan mediante las coenzimas hasta los portadores de proteínas de la cadena respiratoria, que forman parte de las membranas de las crestas mitocondriales (Figura 14.20). Ahí es donde los átomos de hidrógeno se dividen en iones (H^+) y electrones (e^-) de hidrógeno. Los electrones van perdiendo energía al pasar de un portador a otro portador de menor energía. Se liberan de su "carga" de energía en una serie de pasos y en cantidades lo suficientemente pequeñas como para permitir a la célula realizar enlaces de fosfatos y ADP para producir ATP. Por último, se reduce el oxígeno libre (los iones de hidrógeno y los electrones se unen con oxígeno molecular), dando como resultado agua y una gran cantidad de ATP. Al contrario de lo que ocurre en la reacción explosiva que se suele producir cuando se queman combustibles (O_2 se combina con hidrógeno), se pierde una cantidad de energía relativamente pequeña en forma de calor (y luz).

Como la glucosa es el combustible principal para crear ATP, la homeostasis de los niveles de glucosa en sangre es de vital importancia. Si hay niveles excesivamente elevados de glucosa en la sangre **(hiperglucemia),** parte del sobrante se acumula en las células del organismo (sobre todo en el hígado y en las células de los músculos) como glucógeno. Si los niveles de glucosa en sangre siguen siendo demasiado elevados, el sobrante se convierte en grasa. Está claro que la ingesta de grandes cantidades de alimentos calóricos como golosinas y otros dulces ocasiona una rápida acumulación de grasa en los tejidos adiposos del organismo. Cuando los niveles de glucosa en sangre son demasiado bajos **(hipoglucemia),** el hígado descompone el glucógeno

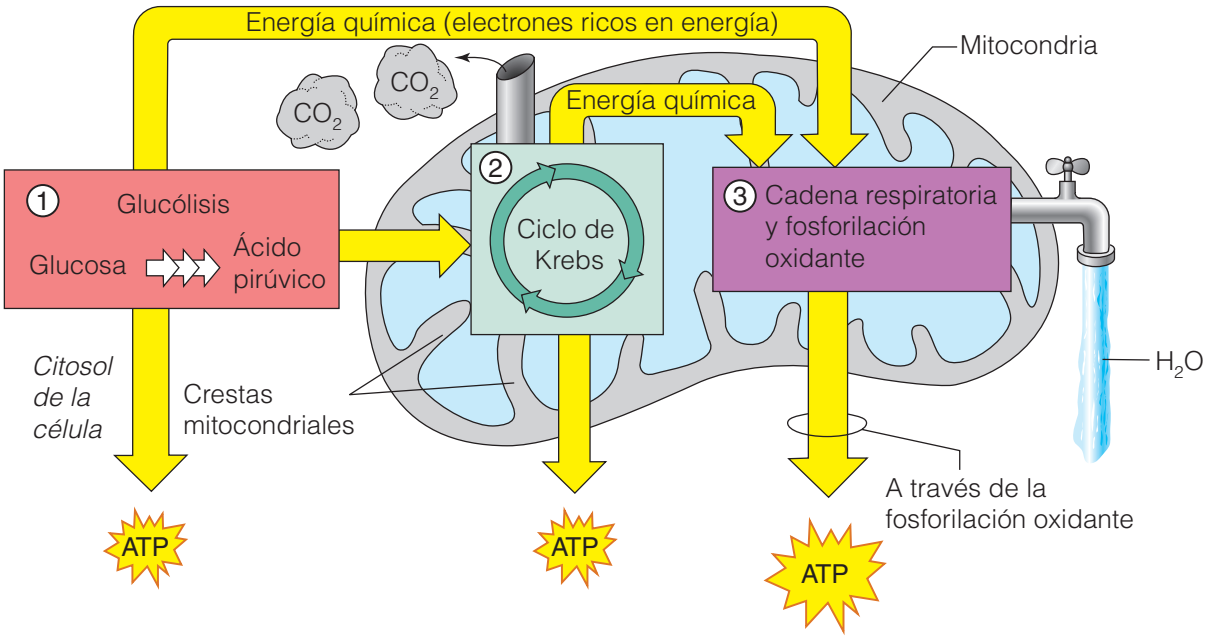


FIGURA 14.19 Descripción general de las zonas de formación de ATP durante la respiración celular. La glucólisis se produce fuera de las mitocondrias, en el citosol. El ciclo de Krebs y las reacciones de la cadena respiratoria se producen dentro de las mitocondrias. ① Durante la glucólisis, los átomos de hidrógeno que contienen electrones ricos en energía se eliminan, ya que cada molécula de glucosa se escinde en dos moléculas de ácido pirúvico. ② El ácido pirúvico se introduce en la mitocondria, donde las enzimas del ciclo de Krebs eliminan más hidrógeno y descomponen el ácido pirúvico en dióxido de carbono. Durante la glucólisis y el ciclo de Krebs, se forman pequeñas cantidades de ATP. ③ A continuación, la energía química de la glucólisis y el ciclo de Krebs, en forma de átomos de hidrógeno que contienen electrones ricos en energía, se transfiere a la cadena respiratoria, que se integra en la membrana de las crestas. La cadena respiratoria lleva a cabo la fosforilación oxidante, que produce la mayor parte del ATP generado por la respiración celular y, por último, une el hidrógeno extraído con el oxígeno para formar agua.

almacenado y libera glucosa a la sangre para que la empleen las células. Estos diversos usos de los hidratos de carbono se muestran en la Figura 14.21a.

¿LO HAS ENTENDIDO?

20. ¿Qué nombre se le da al proceso por el que la glucosa se combina con oxígeno para generar CO_2, H_2O y ATP?
21. ¿Cuáles son los principales productos resultantes del ciclo de Krebs?
22. ¿Cuáles son los productos principales de la cadena respiratoria?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Metabolismo de las grasas

Como se ha descrito brevemente, el hígado realiza la metabolización de la mayoría de los lípidos (o grasas) que entran en el organismo. Las células hepáticas emplean algunas grasas para generar ATP para su propio uso; utiliza algunas para sintetizar lipoproteínas, tromboplastina (una proteína de coagulación) y colesterol; a continuación, libera el resto a la sangre en forma de productos de descomposición de grasas relativamente pequeños. Las células del organismo eliminan el colesterol y los productos de grasas de la sangre y los insertan en sus membranas u hormonas esteroides, según lo necesiten. Las grasas también se emplean para crear vainas mielínicas de neuronas (véase el capítulo 7) y capas de grasa alrededor de los órganos corporales. Además, las grasas almacenadas son la fuente de energía más

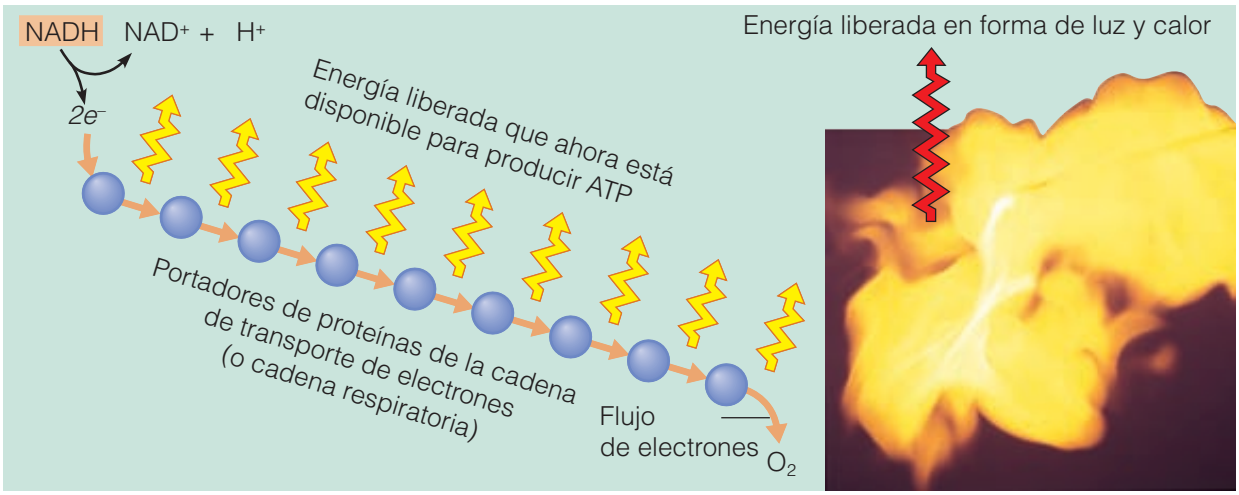


FIGURA 14.20 **La cadena de transporte de electrones comparada con la reducción de oxígeno en un solo paso. (a)** En la respiración celular, las corrientes de electrones liberan energía en pequeños pasos y finalmente reducen el O_2. La energía liberada está en cantidades que pueden utilizarse fácilmente para formar ATP. (El NADH es una coenzima que contiene niacina y distribuye H^+ a la cadena de transporte de electrones). **(b)** Cuando se reduce el O_2 (combinado con hidrógeno) en un solo paso, el resultado es una explosión.

concentrada del organismo. (El catabolismo de un gramo de grasa produce el doble de energía que la descomposición de un gramo de hidratos de carbono o proteínas.)

Los productos de grasas que se utilizarán para la síntesis de ATP deben descomponerse primero en ácido acético (Figura 14.21d). En la mitocondria, el ácido acético (como el producto de ácido pirúvico de los hidratos de carbono) se oxida por completo, y se forman dióxido de carbono, agua y ATP. Cuando no hay suficiente glucosa para cubrir las necesidades energéticas de las células, se utilizan cantidades mayores de grasas para producir ATP. En tales condiciones, la oxidación de las grasas es rápida pero incompleta, y algunos de los productos intermedios, como el ácido acetoacético y la acetona, comienzan a acumularse en la sangre. Esto hace que la sangre se vuelva ácida (une enfermedad llamada **acidosis,** o **cetoacidosis**), y la respiración adopta un olor afrutado a medida que la acetona se difunde desde los pulmones. La cetoacidosis es una consecuencia común de las dietas "sin hidratos de carbono", la diabetes *mellitus* descontrolada, y la hambruna, en la que el cuerpo se ve forzado a recurrir casi por completo a las grasas para cubrir sus necesidades energéticas. Aunque las grasas son una importante fuente energética, el colesterol *nunca* se utiliza como combustible celular. Su importancia yace en las moléculas funcionales y en las estructuras que ayuda a formar.

El exceso de grasas se almacena en depósitos de grasas como las caderas, el abdomen, las mamas y los tejidos subcutáneos. Aunque la grasa del tejido subcutáneo es importante como aislante de los órganos corporales más profundos, las cantidades excesivas restringen el movimiento y conllevan mayores demandas del sistema circulatorio. El metabolismo y los usos de las grasas se muestran en la Figura 14.21b.

Metabolismo de las proteínas

Las proteínas forman el conjunto de estructuras celulares, y las células del organismo las conservan con cuidado. Las proteínas ingeridas se descomponen en aminoácidos. Una vez que el hígado ha terminado de procesar la sangre drenando el tracto digestivo y ha tomado su "espacio" de aminoácidos, los aminoácidos restantes circulan hasta las células del organismo. Las células extraen los aminoácidos de la sangre y los utilizan para formar proteínas, tanto para su propio uso (enzimas, membranas, proteínas fusiformes mitóticas, proteínas musculares) como para la exportación (mucosas, hormonas y otros). Las células se arriesgan poco con su suministro de aminoácidos. Utilizan ATP para transpor-

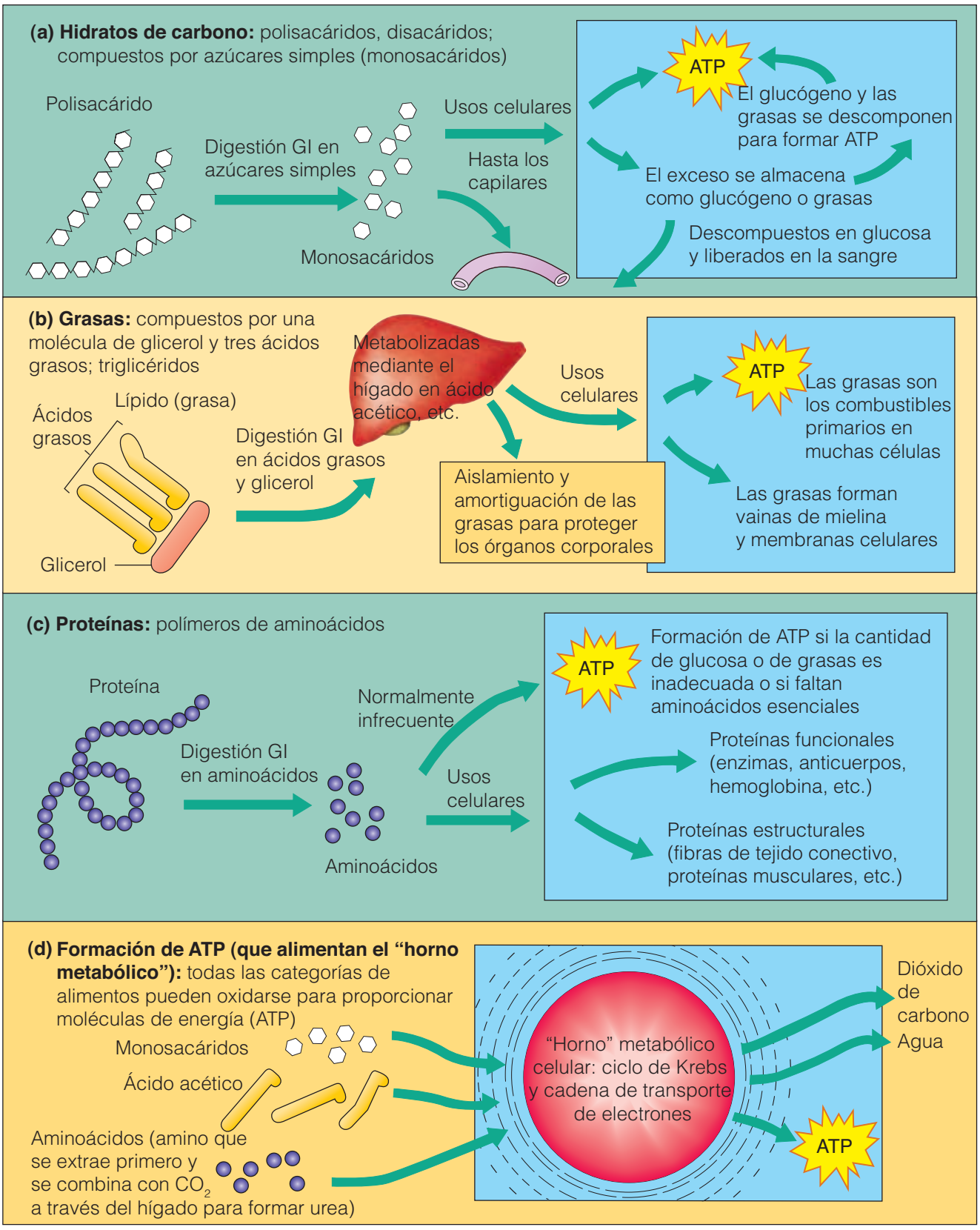


FIGURA 14.21 **Metabolismo mediante las células del organismo. (a)** Metabolismo de los hidratos de carbono. **(b)** Metabolismo de las grasas. **(c)** Metabolismo de las proteínas. **(d)** Formación de ATP.

tar los aminoácidos de forma activa en su interior, incluso aunque en muchos casos puedan contener más de esos aminoácidos que los que hay en la sangre fluyendo por ellas. Incluso aunque esto puede parecer "avaricioso" por parte de las células, hay un motivo importante para que se produzca esta absorción activa de aminoácidos. Las células no pueden formar sus proteínas a menos que estén presentes *todos* los aminoácidos necesarios (unos 20). Como hemos mencionado con anterioridad, puesto que las células no pueden formar aminoácidos esenciales, éstos se encuentran a disposición de las células únicamente a través de la dieta. Esto ayuda a explicar la ávida acumulación de aminoácidos, que garantiza que todos los aminoácidos necesarios estén disponibles para las necesidades de formación proteica presentes y (al menos algunas) futuras de las células (Figura 14.21c).

Los aminoácidos se utilizan para fabricar ATP únicamente cuando las proteínas abundan en exceso o cuando no hay hidratos de carbono ni grasas disponibles. Cuando sea necesario oxidar los aminoácidos para obtener energía (Figura 14.21d), sus grupos aminos se extraen en forma de *amoniaco,* y el resto de la molécula entra en las rutas del ciclo de Krebs en la mitocondria. El amoníaco que se libera durante este proceso es tóxico para las células del organismo, especialmente para las células nerviosas. El hígado acude al rescate combinando el amoníaco con dióxido de carbono para formar **urea.** La urea, que no es perjudicial para las células del organismo, se expulsa del cuerpo en la orina.

La función central del hígado en el metabolismo

El hígado es uno de los órganos más complejos y versátiles del organismo. Sin él, moriríamos en 24 horas. Su función en la digestión (es decir, la fabricación de bilis) es importante para garantizar el proceso digestivo, pero ésta es sólo una de las múltiples funciones de las células hepáticas. Las células hepáticas desintoxican las drogas y el alcohol, degradan las hormonas, hacen que muchas sustancias sean vitales para el organismo en conjunto (colesterol, proteínas de la sangre, como la albúmina y las proteínas coagulantes, y lipoproteínas), y desempeñan una función central en el metabolismo puesto que procesan casi cada clase de nutriente. Debido a las funciones principales del hígado, la naturaleza nos ha dotado de un excedente de tejido hepático. Tenemos mucho más de lo que necesitamos, e incluso si parte de él se daña o extrae, se trata de uno de los pocos órganos del cuerpo que puede regenerarse de forma rápida y sencilla.

Como hemos descrito en el Capítulo 11, una circulación única, la *circulación portal hepática,* trae drenaje sanguíneo rico en nutrientes de las vísceras digestivas directamente hasta el hígado. El hígado es el principal órgano metabólico del organismo, y este rodeo que dan los nutrientes a través del hígado garantiza que las necesidades de éste se satisfarán en primer lugar. A medida que la sangre circula lentamente por el hígado, las células hepáticas extraen aminoácidos, ácidos grasos y glucosa de la sangre. Estos nutrientes se almacenan para su uso posterior o se procesan de distintas formas. Al mismo tiempo, las células fagocíticas del hígado extraen y destruyen las bacterias que consiguen atravesar las paredes del tracto digestivo y entrar en la sangre.

Funciones metabólicas generales

El hígado es vitalmente importante para ayudar a mantener los niveles de glucosa en la sangre en un rango normal (en torno a 100 mg de glucosa/100 ml de sangre). Tras una comida rica en hidratos de carbono, miles de moléculas de glucosa se extraen de la sangre y se combinan para formar las grandes moléculas de polisacáridos, denominadas **glucógeno,** que se almacenan después en el hígado. Este proceso es la **glucogénesis,** literalmente, "formación de glucógeno" (*génesis* = principio).

Más tarde, a medida que las células del organismo continúan extrayendo glucosa de la sangre para satisfacer sus necesidades, los niveles de glucosa en la sangre empiezan a disminuir. En este momento, las células hepáticas descomponen el glucógeno almacenado mediante un proceso denominado **glucogenólisis,** que significa "división de glucógeno". A continuación, las células hepáticas liberan glucosa poco a poco en la sangre para mantener la homeostasis de los niveles de glucosa en la sangre.

Si es necesario, el hígado también puede fabricar glucosa a partir de sustancias sin hidratos de carbono, como las grasas y las proteínas. Este proceso es la **gluconeogénesis,** que significa "formación de azúcar nuevo" (Figura 14.22). Como hemos descrito en el Capítulo 9, hormonas como la tiroxina, la insulina y el glucagón son de vital importancia para el control de los niveles de azúcar en la sangre y el manejo de la glucosa en todas las células del organismo.

Algunas de las grasas y ácidos grasos absorbidos por las células hepáticas se oxidan para obtener energía (producir ATP) que utilicen las propias células hepáticas. El resto se descomponen en sustancias más simples, como el *ácido acético* y el *ácido acetoacético* (dos ácidos acéticos unidos) y se liberan en la sangre o se almacenan como reservas de grasa en el hígado. El hígado también fabrica colesterol y segrega productos descompuestos del colesterol en la bilis.

Todas las proteínas de la sangre producidas por el hígado se forman a partir de los aminoácidos que sus células absorben de la sangre. A continuación, las proteínas completas se liberan de nuevo en la sangre para

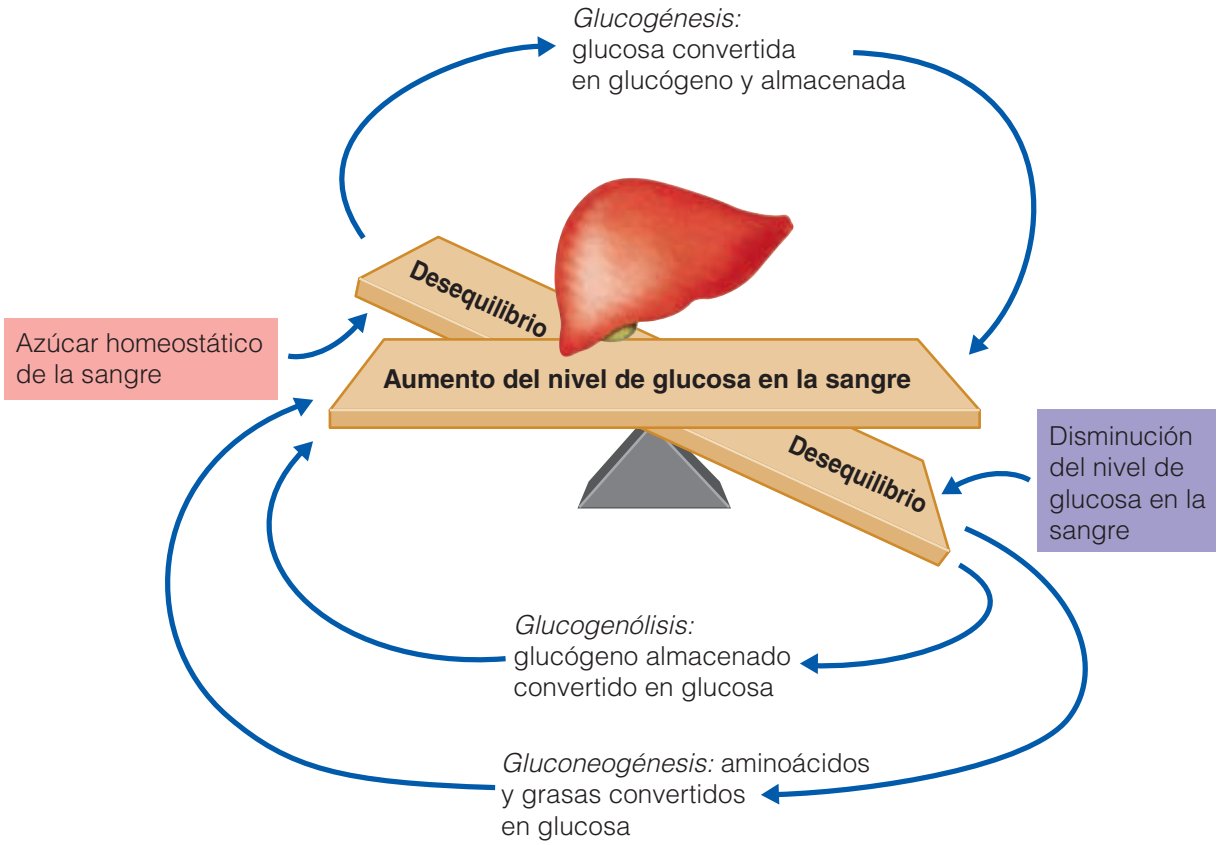


FIGURA 14.22 Sucesos metabólicos que se producen en el hígado a medida que los niveles de glucosa en la sangre aumentan o disminuyen. Cuando aumenta el nivel de glucosa en la sangre, el hígado extrae la glucosa de la sangre y la almacena en forma de glucógeno (glucogénesis). Cuando disminuye el nivel de glucosa en la sangre, el hígado descompone el glucógeno almacenado (glucogenólisis) y produce glucosa nueva a partir de aminoácidos y grasas (gluconeogénesis). Entonces la glucosa se libera en la sangre para restaurar la homeostasis del azúcar en la sangre.

moverse mediante la circulación. La *albúmina,* la proteína más abundante de la sangre, mantiene líquidos en el flujo sanguíneo. Cuando no hay suficiente albúmina presente en la sangre, el líquido sale del flujo sanguíneo y se acumula en los espacios tisulares, de modo que causan edemas. En el Capítulo 10 hemos explicado la función de las *proteínas coagulantes* protectoras producidas por el hígado. Las células hepáticas también sintetizan aminoácidos no esenciales y, como hemos mencionado con anterioridad, desintoxican el amoniaco (producido cuando los aminoácidos se oxidan para obtener energía) convirtiéndolo en urea.

Los nutrientes que no son necesarios para las células hepáticas, así como los productos del metabolismo hepático, se liberan en la sangre y se drenan del hígado en la vena hepática para entrar en la circulación sistémica, donde están a disposición de otras células del organismo.

El metabolismo y transporte del colesterol

Aunque se trata de un lípido muy importante en la dieta, el **colesterol** no se utiliza como combustible energético. En lugar de eso, sirve como la base estructural de las hormonas esteroides y de la vitamina D y es un bloque de formación principal de las membranas plasmáticas. Puesto que en los medios de comunicación se oye hablar tanto de "reducir nuestro aporte de colesterol", siempre resulta sorprendente aprender que sólo el 15% del colesterol de la sangre aproximadamente procede de la dieta. El otro 85% aproximadamente lo produce el hígado. El colesterol se pierde del cuerpo cuando se descompone y se secreta en las sales biliares, que acaban saliendo del organismo en forma de heces.

Debido a la importante función que desempeña en el transporte de las grasas y del colesterol, las lipoproteínas, una clase de proteínas producidas por el hígado

y conocidas como *HDL* y *LDL,* merecen un poco más de atención.

Los ácidos, las grasas y el colesterol son insolubles en agua, así que no pueden circular libremente en el flujo sanguíneo. En lugar de eso, son transportados unidos a los pequeños complejos de lípidos y proteínas denominados lipoproteínas. Aunque toda la historia es compleja, lo más importante que hay que saber es que las **lipoproteínas de baja densidad** (o **LDL**) transportan colesterol y otros lípidos *hasta* las células del organismo, donde se utilizan de varias formas. Si hay una gran cantidad de LDL en circulación, la posibilidad de que las sustancias grasas se depositen en las paredes arteriales, para iniciar la aterosclerosis, es alta. Debido a esta posibilidad, las LDL se conocen como "lipoproteínas malas". En cambio, las lipoproteínas que transportan colesterol *desde* las células tisulares (o arterias) hasta el hígado para su paso a la bilis son las **lipoproteínas de alta densidad** (o **HDL**). Los elevados niveles de HDL se consideran "buenos" porque el colesterol está destinado a descomponerse y eliminarse del cuerpo. Es obvio que tanto las LDL como las HDL son "buenas o necesarias"; es simplemente su porcentaje relativo en la sangre lo que determina si los depósitos de colesterol potencialmente letal se establecerán o no en las paredes arteriales. En general, parece que el ejercicio aeróbico, una dieta baja en grasas saturadas y colesterol, así como no fumar ni beber café favorecen un porcentaje deseable de HDL/LDL.

¿LO HAS ENTENDIDO?

23. ¿Qué es la gluconeogénesis?
24. Si tuvieses elección, ¿preferirías tener unos niveles elevados de HDL o de LDL? Argumenta tu respuesta.

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Equilibrio energético del organismo

Al quemarse, cualquier combustible consume oxígeno y libera calor. La "combustión" de combustibles alimentarios por parte de las células del organismo no es una excepción. Como se afirma en el Capítulo 2, la energía no se crea ni se destruye; sólo puede cambiar de forma. Si aplicamos este principio al metabolismo celular, significa que existe un equilibrio dinámico entre el aporte energético del organismo y su producción de energía:

Aporte energético = producción de energía total
(calor + trabajo + almacenamiento de energía)

El **aporte energético** es la energía liberada durante la oxidación de los alimentos, es decir, durante las reacciones de la glucólisis, el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones. La **producción de energía** incluye la energía que perdemos de inmediato en forma de calor (en torno al 60% del total), más la que se utiliza para trabajar (conducida por el ATP), más la energía que se almacena en forma de grasas o glucógeno. El almacenamiento energético sólo es importante durante los periodos de crecimiento y durante el depósito neto de grasas.

Regulación del aporte alimentario

Cuando el aporte energético y la producción de energía están equilibrados, el peso corporal permanece estable. De lo contrario, se gana o se pierde peso. Puesto que el peso corporal de la mayoría de las personas es sorprendentemente estable, deben existir mecanismos que controlen el aporte de alimentos o la producción de calor (o ambos).

Pero ¿cómo se controla el aporte alimentario? Es una pregunta difícil que aún no se ha contestado. Los investigadores creen que varios factores, como el aumento o la disminución de los niveles de nutrientes en la sangre (glucosa y aminoácidos), las hormonas (insulina, glucagón y leptina) o la temperatura del organismo (el aumento de la temperatura es un inhibidor) y los factores psicológicos, afectan a la conducta alimentaria mediante señales de respuesta al cerebro. De hecho, se cree que los factores psicológicos son una importante causa de obesidad. No obstante, incluso cuando los factores psicológicos *son* la causa subyacente de obesidad, los individuos *no* continúan ganando peso indefinidamente. Parece que sus controles de alimentación siguen funcionando, pero actúan para mantener el contenido energético corporal total a niveles más elevados de lo normal.

Índice metabólico y producción de calor corporal

Índice metabólico basal Cuando los nutrientes se descomponen para producir energía celular (ATP), fabrican distintas cantidades de energía. Como se ha mencionado anteriormente, el valor energético de los alimentos se mide en unidades denominadas *kilocalorías (kcal).* En general, los hidratos de carbono y las proteínas producen 4 kcal/g cada uno, y las grasas, 9 kcal/g al descomponerse para producir energía. La mayor parte de las comidas, e incluso muchos alimentos individuales, son mezclas de hidratos de carbono, grasas y proteínas. Para determinar el valor calórico de una comida, debemos saber cuántos gramos de cada tipo de producto alimentario contiene. Para la mayoría de nosotros se trata de una ardua tarea, pero pueden realizarse aproximaciones fácilmente con la ayuda de una simple guía de valores calóricos, disponible en la mayoría de los supermercados.

TABLA 14.3 Factores que determinan el índice metabólico basal (BMR)

Factor	Variación	Efecto sobre el BMR
Área superficial	Área de superficie grande en relación con el volumen corporal, como en los individuos delgados y pequeños	Creciente
	Área de superficie pequeña en relación con el volumen corporal, como en los individuos pesados y grandes	Decreciente
Sexo	Hombre	Creciente
	Mujer	Decreciente
Producción de tiroxina	Creciente	Creciente
	Decreciente	Decreciente
Edad	Joven, crecimiento rápido	Creciente
	Envejecimiento, anciano	Decreciente
Emociones fuertes (enfado o miedo) e infecciones		Creciente

La cantidad de energía que utiliza el organismo también se mide en kilocalorías. El **índice metabólico basal (IMB)** es la cantidad de calor que produce el cuerpo por unidad de tiempo en condiciones basales, es decir, en reposo. Refleja el suministro energético que el organismo de una persona necesita para realizar las actividades esenciales de la vida, como respirar, y mantener los latidos cardiacos y la función renal. Un adulto medio de unos 70 kg tiene un BMR de entre 60 y 72 kcal/hora.

Muchos factores influyen en el BMR, incluso la zona de superficie y el género. Como se muestra en la Tabla 14.3, los hombres pequeños y delgados tienden a tener un BMR mayor que las mujeres grandes y obesas. La edad también es importante; los niños y los adolescentes necesitan grandes cantidades de energía para crecer y presentan un BMR relativamente alto. En la vejez, el BMR disminuye drásticamente a medida que los músculos empiezan a atrofiarse.

La cantidad de **tiroxina** producida por la glándula tiroidea es probablemente el factor más importante para determinar el BMR de una persona; de ahí que a la tiroxina se le apode la "hormona metabólica". Cuanta más tiroxina se produce, más oxígeno se consume y más ATP se utiliza, y mayor es el índice metabólico. Antes, la mayoría de las pruebas del BMR se realizaban para determinar si se estaba produciendo suficiente tiroxina. Hoy día, la actividad tiroidea puede evaluarse más fácilmente mediante los análisis de sangre.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El **hipertiroidismo** provoca multitud de efectos debido al excesivo índice metabólico que produce. El organismo cataboliza las proteínas tisulares y grasas almacenadas, y a pesar del hambre y el aporte alimentario mayores, la persona pierde peso con frecuencia. Los huesos se debilitan y los músculos del organismo, incluido el corazón, se atrofian. En contraste, el **hipotiroidismo** ralentiza el metabolismo, provoca obesidad y disminuye los procesos de razonamiento. ▲

Índice metabólico total Cuando estamos activos, debe oxidarse más glucosa para proporcionar la energía necesaria para realizar actividades adicionales. La digestión de alimentos, e incluso una actividad física modesta, aumentan drásticamente las necesidades calóricas del organismo. Estas necesidades de combustible adicional están por encima y más allá de la energía necesaria para mantener el cuerpo en el estado basal. El **índice metabólico total (TMR)** hace referencia a la cantidad total de kilocalorías que el cuerpo debe consumir para poder realizar todas las actividades en curso. El trabajo muscular es la principal actividad del organismo que aumenta el TMR. Incluso un ligero incremento de la actividad de los músculos esqueléticos causa unas notables subidas del índice metabólico. Cuando un deportista bien entrenado realiza un ejercicio enérgico durante varios minutos, el TMR puede aumentar entre 15 y 20 veces por encima del índice normal, y permanece elevado durante varias horas después.

Cuando la cantidad total de kilocalorías consumidas es igual al TMR, la homeostasis se mantiene y nuestro peso permanece constante. Sin embargo, si comemos más de los que necesitamos para mantener nuestras actividades, el exceso de calorías aparece en forma de depósitos de grasas. Por el contrario, si somos extremadamente activos y no alimentamos correctamente el "horno metabólico", comenzamos a descomponer las reservas de grasas e incluso las proteínas tisulares para satisfacer nuestro TMR. Este principio se utiliza en todas las dietas eficaces para perder peso. (Las calorías totales necesarias se calculan según el tamaño corporal y la edad. Así, se recorta el 20% o más de los requisitos de la dieta diaria). Si la persona que está a dieta hace ejercicio con regularidad, perderá peso incluso con mayor rapidez porque el TMR aumentará por encima del índice anterior de la persona.

Regulación de la temperatura corporal

Aunque hemos destacado que los alimentos se "queman" para producir ATP, recuerda que el ATP no es el único producto del catabolismo celular. La mayor parte de la energía liberada, a medida que se oxidan los alimentos escapa en forma de calor. Menos del 40% de energía alimentaria disponible se captura realmente para formar ATP. El calor liberado templa los tejidos y, lo que es más importante, la sangre, que circula por todos los tejidos del organismo, de modo que los mantiene a temperaturas homeostáticas, lo que permite que el metabolismo sea eficaz.

La temperatura del organismo refleja el equilibrio entre la producción y la pérdida de calor. El termostato corporal se encuentra en el *hipotálamo* del cerebro. Mediante las rutas del sistema nervioso autónomo, el hipotálamo regula continuamente la temperatura corporal en torno a un punto establecido de 35,6 a 37,8 °C mediante la iniciación de mecanismos de pérdida o promoción de calor (Figura 14.23).

Mecanismos de promoción de calor Cuando la temperatura ambiental es baja, el cuerpo debe producir más calor para mantener una temperatura corporal normal (37 °C). Y si, por alguna razón, disminuye la temperatura de la sangre en circulación, debe conservarse más calor corporal y debe generarse más calor para restablecer la temperatura del organismo (sanguínea) normal. Los métodos a corto plazo para lograr esto son la **vasoconstricción** de los vasos sanguíneos de la piel y los **tiritones.**

Cuando se estrangula la vasculatura cutánea, la sangre evita la piel temporalmente y es reconducida a los órganos corporales más profundos y más vitales. Cuando esto sucede, la temperatura de la piel expuesta disminuye hasta la temperatura medioambiental externa.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La restricción del reparto sanguíneo por la piel no representa ningún problema durante breves periodos de tiempo. No obstante, si el tiempo se alarga, las células cutáneas, enfriadas por cristales de hielo internos y privadas de oxígeno y nutrientes, empiezan a morir. Esta situación, denominada **congelación de extremidades,** es extremadamente grave. ▲

Cuando la temperatura corporal del *núcleo* (la temperatura de los órganos profundos) cae hasta el punto más allá del cual el simple estrangulamiento de los capilares cutáneos puede manejar la situación, empezamos a tiritar. La acción de tiritar, contracciones involuntarias como escalofríos de los músculos voluntarios, es muy eficaz para aumentar la temperatura del organismo dado que la actividad de los músculos esqueléticos produce una gran cantidad de calor.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La temperatura corporal extremadamente baja resultante de la exposición prolongada al frío es la hipotermia. En la **hipotermia,** las constantes vitales del individuo (frecuencia respiratoria, tensión arterial, frecuencia cardiaca) disminuyen. La persona se siente somnolienta y extrañamente confortable, incluso aunque antes haya sentido un frío extremo. Si no se corrige, la situación evoluciona hasta el coma y finalmente la muerte, ya que acaban deteniéndose los procesos metabólicos. ▲

Mecanismos de pérdida de calor Al igual que el cuerpo debe estar protegido para que no se enfríe demasiado, también debe estarlo frente a las temperaturas excesivamente altas. La mayor parte de la pérdida de calor se produce a través de la piel por **radiación** o **evaporación.** Cuando la temperatura del organismo aumenta por encima de lo deseable, los vasos sanguíneos que actúan en la piel se dilatan y los lechos capilares de la piel se hinchan de sangre caliente. Como resultado, el calor se radia desde la superficie cutánea. No obstante, si la temperatura ambiental externa es tan elevada como la del organismo o más, el calor no puede perderse por radiación, y la única forma para deshacerse del calor sobrante es por evaporación del sudor a través de la superficie cutánea. Se trata de un método eficaz de pérdida de calor corporal siempre que el aire sea seco. Si es húmedo, la evaporación se produce a un ritmo mucho más lento. En tales casos, nuestros mecanismos de liberación de calor no funcionan bien, y nos sentimos incómodos e irritables.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando los procesos normales de pérdida de calor dejan de ser eficaces, la **hipertermia** (temperatura corporal elevada) resultante reduce la acción del hipotálamo. Como resultado, se produce un vicioso ciclo de respuesta

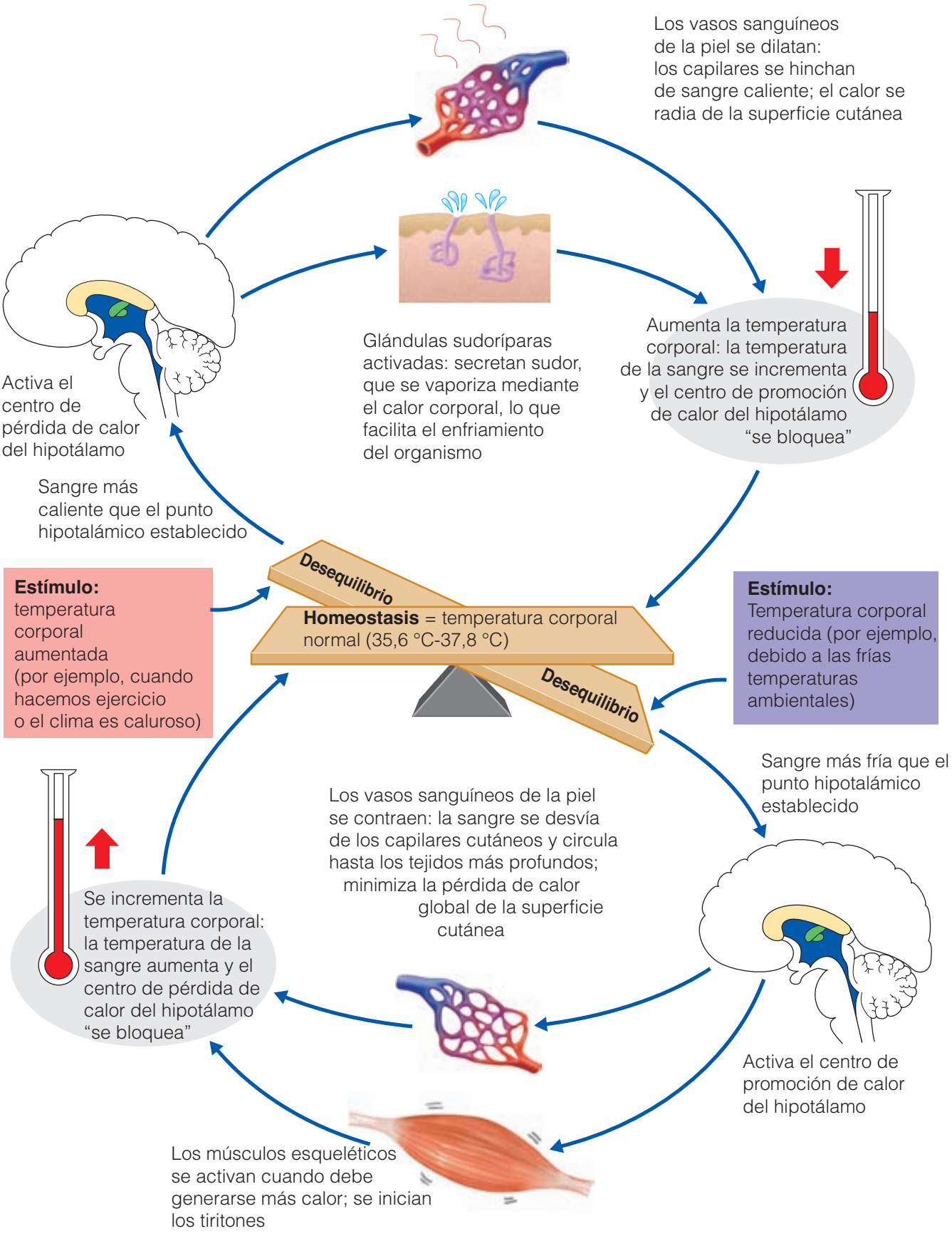


FIGURA 14.23 **Mecanismos de regulación de la temperatura corporal.**

positivo: el aumento de la temperatura corporal incrementa el índice metabólico que, a su vez, aumenta la producción de calor. La piel se calienta y se seca; y, a medida que la temperatura continúa aumentando, se incrementa la posibilidad de que se produzcan daños cerebrales permanentes. Esta enfermedad, denominada **insolación,** puede ser fatal a menos que se corrija rápidamente y de inmediato (inmersión en agua fría y administración de líquidos).

El **agotamiento a causa del calor** es el término utilizado para describir el desplome asociado al calor de un individuo durante una actividad física enérgica o durante ésta. El agotamiento a causa del calor es el resultado de la pérdida excesiva de líquidos corporales (deshidratación) y se evidencia mediante una tensión arterial baja, una frecuencia cardiaca rápida y una piel fría y pegajosa. A diferencia de la insolación, los mecanismoa de pérdida de calor siguen funcionando en el agotamiento a causa del calor. ▲

La fiebre es una hipertermia controlada. Con mayor frecuencia, es resultado de una infección en alguna zona del organismo, pero puede estar causada por otras condiciones (cáncer, reacciones alérgicas y lesiones del CNS). Los macrófagos (glóbulos blancos) y las células tisulares dañadas liberan sustancias químicas denominadas *pirógenos* que actúan directamente en el hipotálamo para que el termostato se establezca en una temperatura mayor (*piro* = fuego). Tras restablecer el termostato, se inician los mecanismos de promoción de calor. La vasoconstricción enfría la sangre y los tiritones empiezan a generar calor. Esta situación, denominada "escalofríos", es un signo claro de que la temperatura corporal está subiendo. Ésta puede subir hasta que alcanza la nueva temperatura establecida. A continuación, se mantiene en el "ajuste de la fiebre" hasta que los procesos de defensa naturales del organismo o los antibióticos invierten el proceso de la enfermedad. En ese punto, el termostato se restablece de nuevo a un nivel menor (o normal), lo que permite que los mecanismos de pérdida de calor entren en acción; el individuo empieza a sudar y la piel se enrojece y se calienta. Los médicos llevan mucho tiempo reconociendo que estos signos indican una mejora en sus pacientes y afirman que el enfermo ha "pasado la crisis" porque la temperatura corporal estaba bajando.

Como explicamos en el Capítulo 12, la fiebre, al aumentar el índice metabólico, ayuda a acelerar los distintos procesos de curación, y esto también parece inhibir el crecimiento bacteriano. El peligro de la fiebre es que si el termostato del organismo se establece demasiado alto, las proteínas corporales pueden desnaturalizarse y producirse así daños cerebrales permanentes.

¿LO HAS ENTENDIDO?

25. ¿Qué clase de nutriente proporciona mayor cantidad de kilocalorías por gramo de alimento?
26. ¿Cuál de los siguientes factores es más probable que produzca un BMR relativamente alto: la vejez, un área superficial grande en comparación con el volumen corporal, el sexo femenino, una producción de tiroxina deficiente?
27. ¿Qué dos medios hay para mantener o aumentar la temperatura corporal?
28. ¿Cómo afecta la vasodilatación de los vasos sanguíneos de la piel a la temperatura corporal en un día caluroso?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA DIGESTIVO Y EL METABOLISMO

Un embrión muy joven es plano y con forma de tortita. Sin embargo, pronto se pliega para formar un cuerpo cilíndrico, y su cavidad interna se convierte en la cavidad del tubo digestivo. A la quinta semana de desarrollo, el tubo digestivo es una estructura tubular continua que se extiende desde la boca hasta el ano. Poco después, las glándulas digestivas (las glándulas salivares, el hígado y el páncreas) brotan hacia afuera de la mucosa del tubo digestivo. Estas glándulas retienen sus conexiones (conductos) y pueden vaciar fácilmente sus secreciones en el tubo digestivo para promover sus funciones digestivas.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El sistema digestivo puede padecer muchos defectos congénitos que interfieren con la alimentación. El más común es el defecto de **paladar fisurado/labio fisurado.** De los dos, el paladar fisurado es más grave porque el niño es incapaz de succionar correctamente. Otro defecto congénito relativamente común es una **fístula traqueoesofágica.** En esta enfermedad hay una conexión entre el esófago y la tráquea. Además, el esófago a menudo (pero no siempre) termina en un saco ciego y no se une al estómago. El bebé se ahoga, babea y se vuelve cianótico cuando se le alimenta porque la comida entra a las vías respiratorias. Los tres defectos pueden corregirse quirúrgicamente.

Hay muchos tipos de defectos congénitos del metabolismo (problemas genéticos que interfieren con el metabolismo), pero quizás los dos más comunes son la **fibrosis cística (CF)** y la **fenilcetonuria (PKU).** La CF afecta principalmente a los pulmones, pero también empeora de forma significativa la actividad del páncreas. En la CF se producen ingentes cantidades de moco, que bloquea el paso de los órganos implicados. El bloqueo del conducto pancreático evita

que el líquido pancreático llegue al intestino delgado. Como resultado, las grasas y las vitaminas liposolubles no se digieren ni absorben, lo que conlleva defecaciones voluminosas y cargadas de grasa. Esta enfermedad suele controlarse mediante la administración de enzimas pancreáticas con las comidas.

La PKU implica la incapacidad de las células tisulares para utilizar la fenilalanina, un aminoácido presente en todos los alimentos proteicos. En tales casos, se producen daños cerebrales y retraso cerebral a menos que se prescriba una dieta especial baja en fenilalanina. ▲

El bebé en desarrollo recibe todos sus nutrientes a través de la placenta, y al menos en este periodo de vida, la obtención y el procesamiento de nutrientes no representa ningún problema (siempre que la madre se alimente de forma adecuada). La obtención de la nutrición es la actividad más importante del recién nacido, y varios reflejos presentes en este momento facilitan esta actividad. Por ejemplo, el *reflejo de los puntos cardinales* ayuda al bebé a encontrar el pezón (de la madre o del biberón) y el *reflejo de succión* le ayuda a sujetarse al pezón y a tragar. El estómago de un recién nacido es muy pequeño, así que la alimentación debe ser frecuente (entre cada tres y cuatro horas). La peristalsis es bastante ineficaz en este momento, y los vómitos no son del todo inusuales.

El nacimiento de los dientes comienza en torno a los seis meses y continúa hasta más o menos los dos años. En este intervalo, el bebé evoluciona a alimentos cada vez más sólidos y suele consumir una dieta de adulto en la primera infancia. El apetito se reduce durante la escuela elemental y luego aumenta de nuevo durante el rápido crecimiento de la adolescencia. (Los padres de adolescentes suelen lamentarse de sus elevados gastos en el supermercado).

Durante toda la infancia y en la adultez, el sistema digestivo funciona con relativamente pocos problemas a menos que haya interferencias anormales, como alimentos contaminados o extremadamente picantes o irritantes (que pueden provocar inflamación del tracto gastrointestinal [o **gastroenteritis**]). La inflamación del apéndice **(apendicitis)** es especialmente común en los adolescentes por alguna razón desconocida. Entre la mediana edad y el principio de la vejez, el índice metabólico se reduce entre un 5% y un 8% cada 10 años. Éste es el periodo de la vida en que el peso parece aumentar de forma paulatina, y a menudo la obesidad se convierte en una realidad de la vida. Para mantener el peso deseado, debemos tener en cuenta este cambio gradual y estar preparados para reducir el aporte calórico. Dos claros problemas digestivos de la mediana edad son las *úlceras* (véase "Más de cerca" en las págs. 488-489) y los *problemas de la vesícula biliar* (inflamación de la vesícula biliar o cálculos biliares).

Durante la vejez, la actividad del tracto GI se reduce. Se producen menos jugos digestivos y se ralentiza la peristalsis. El gusto y el olfato se vuelven menos agudos y a menudo se desarrollan enfermedades periodontales. Muchas personas mayores viven solas o con escasos ingresos. Estos factores, junto con la creciente discapacidad física, tienden a hacer la comida menos apetecible y la nutrición es inadecuada en muchos de nuestros ciudadanos ancianos. La diverticulosis y el cáncer del tracto gastrointestinal son problemas bastante comunes. El cáncer de estómago y de colon rara vez presentan síntomas precoces y frecuentemente evolucionan hasta una fase inoperable (es decir, se extienden a partes distantes del cuerpo) antes de que el individuo solicite atención médica. Sin embargo, si se detectan pronto, ambas enfermedades pueden tratarse, y se ha sugerido que las dietas ricas en fibras vegetales y bajas en grasas pueden ayudar a reducir la incidencia del cáncer de colon. Asimismo, puesto que la mayoría de los carcinomas colorrectales derivan de tumores mucosales inicialmente benignos denominados **pólipos,** y debido a que la incidencia de la formación de pólipos aumenta con la edad, todo individuo mayor de 50 años debería realizarse una exploración de colon anual como prioridad para su salud.

¿LO HAS ENTENDIDO?

29. ¿Cómo afecta la fibrosis cística a la digestión?
30. ¿Qué cambios dietéticos deben realizarse para evitar daños cerebrales en los niños con PKU?
31. ¿Qué sucede cuando el aporte calórico total supera el TMR?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

MÁS DE CERCA

OBESIDAD: LA SOLUCIÓN MÁGICA DESEADA

¿Cómo de gordo hay que estar para que sea demasiado? ¿Qué diferencia a un obeso de un individuo con sobrepeso? La balanza del cuarto de baño es una guía imprecisa, porque el peso corporal no indica nada acerca de la composición del cuerpo. Unos huesos densos y unos músculos bien desarrollados pueden hacer que una persona tenga técnicamente sobrepeso. Arnold Schwarzenegger, por ejemplo, ha inclinado las balanzas con un peso pesado de 116,6 kg.

El punto de vista más común de obesidad es que se trata de un enfermedad de almacenamiento excesivo de triglicéridos. Aunque nos lamentamos de nuestra incapacidad para deshacernos de nuestra grasa, el auténtico problema es que seguimos rellenando los depósitos consumiendo demasiadas calorías. Un contenido de grasa corporal del 18%-22% del peso corporal (hombres y mujeres, respectivamente) se considera normal en los adultos. Cualquier cifra por encima se define como obesidad.

La medida médica oficial de obesidad y grasa corporal se denomina *índice de masa corporal (BMI),* el índice del peso en relación con la altura. Para estimar el BMI, divide el peso en kilos entre el cuadrado de la altura en metros:

$$\text{BMI} = \frac{\text{peso [kg]}}{(\text{altura [metros]})^2}$$

El sobrepeso se define por un BMI de 25-30; la *obesidad* presenta un BMI mayor de 30.

A pesar de que se ha definido, la obesidad es una enfermedad desconcertante y poco comprendida. El término *enfermedad* es adecuado porque todas las formas de obesidad implican algún desequilibrio en los mecanismos de control del aporte alimentario. A pesar de sus efectos secundarios bien conocidos sobre la salud (los obesos presentan una incidencia mayor de padecer arteriosclerosis, hipertensión, enfermedades coronarias y diabetes *mellitus*), es el problema de salud más común en Estados Unidos. Estados Unidos es un país grande y está creciendo, al menos por el centro. Dos de cada tres adultos son obesos. Los niños estadounidenses son cada vez más obesos también. Debido a que eligen jugar con videojuegos caseros y comer patatas fritas en vez de jugar al fútbol y comer manzanas, su forma cardiovascular general también está disminuyendo.

> *"La obesidad es una enfermedad desconcertante y poco comprendida."*

El estigma social y las desventajas económicas de la obesidad son legendarios. Una persona obesa paga más seguro médico, es discriminada en el mercado laboral, tiene menos opciones al elegir ropa y padece frecuentes humillaciones durante toda su vida. Con todos estos problemas, está claro que pocos elegirían estar obesos. Así que ¿qué causa la obesidad? Fijémonos en tres de las teorías más recientes.

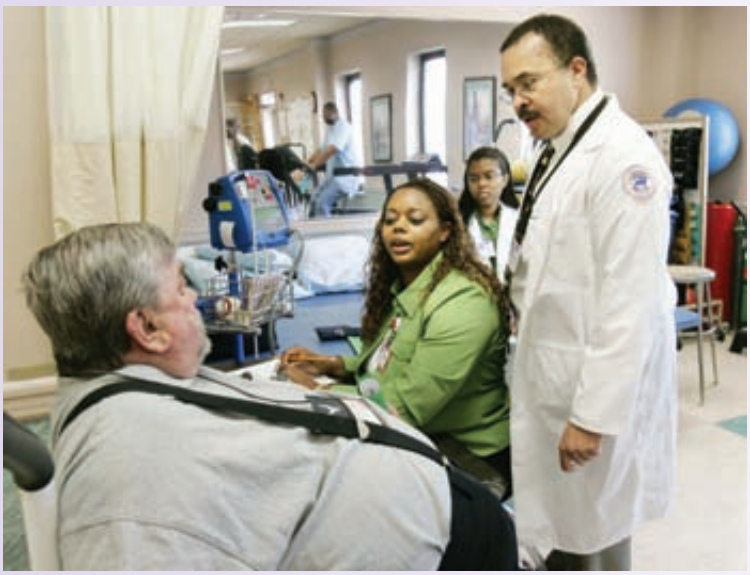
Sobrealimentación durante la niñez

Algunos opinan que las conductas de sobrealimentación se desarrollan pronto en la vida (el síndrome de "limpia el plato") y establecen la fase de obesidad adulta aumentando el número de células de grasa formadas durante la niñez. Después, durante la adultez, los aumentos de la masa de tejido adiposo se producen porque se deposita más grasa en las células existentes. Así, cuantas más células hay, más grasa se almacena.

Mayor eficacia de los "combustibles" en las personas obesas

Las personas obesas tienen un "combustible" más eficaz y poseen "almacenadores de grasa" más efectivos. Aunque con frecuencia se asume que los obesos comen más que otras personas, esto no es necesariamente cierto; en realidad, muchos comen menos que los individuos con un peso normal.

Cuando las personas que siguen las dietas milagro pierden peso, sus índices metabólicos bajan drásticamente. No obstante, cuando ganan peso más adelante, sus índices metabólicos aumentan como un horno atizado. Cada pérdida de peso sucesiva se produce más lentamente, pero el peso perdido se recupera el triple de rápido. Así, parece que las personas, como animales de laboratorio sujetos a "banquetes y ayunos" alternantes, se vuelven cada vez más eficientes con los alimentos. Por tanto, las grasas se almacenan de forma más estable con cada caloría (engordan más) que las proteínas o los hidratos de carbono porque se utiliza



muy poca energía para procesarlas. Por ejemplo, cuando alguien ingiere 100 calorías de *hidratos de carbono* de más, se utilizan 23 calorías en el procesamiento metabólico y se almacenan 77. Sin embargo, si el exceso de calorías procede de las grasas, sólo se "queman" 3 calorías y el resto (97) se almacenan.

Estos hechos se aplican a todo el mundo, pero en el caso de los obesos la imagen es incluso más desoladora. Por ejemplo, las células de grasa de las personas con sobrepeso "echan" más receptores alfa (tipo que favorece la acumulación de grasas), y su enzima lipasa lipoproteica, que carga grasas de la sangre (normalmente a las células de grasa), es excepcionalmente eficiente.

Predisposición genética

La obesidad mórbida es el destino de la gente que hereda dos genes de obesidad. Sin embargo, la auténtica predisposición genética a la "gordura" parece representar únicamente en torno al 5% de los obesos en Estados Unidos. Estas personas, dado el exceso de calorías, siempre las depositarán como grasa, a diferencia de aquellas que desarrollan más músculo con algún exceso de calorías.

Curas falsas y arriesgadas

Abundan los rumores y las escasas opciones para tratar la obesidad. Algunas de las estrategias más desafortunadas utilizadas para lidiar con la obesidad se describen a continuación.

Pastillas de agua

Los diuréticos promueven la excreción de agua de los riñones. En el mejor de los casos, pueden ayudar a perder unos cuantos gramos durante unas horas. También pueden provocar graves desequilibrios de electrolitos y deshidratación.

Fármacos dietéticos

Algunas personas obesas utilizan anfetaminas (como la Dexedrina® y la Benzedrina® [*speed*]) para reducir el apetito y aumentar el índice metabólico. Éstas funcionan, pero sólo temporalmente (hasta que se desarrolla la tolerancia), y pueden causar una dependencia peligrosa. Las ayudas dietéticas que proporcionan fibra para evitar la absorción de los nutrientes pueden causar una grave malnutrición.

Los fármacos para perder peso tan populares hoy en día incluyen la fentermina, la sibutramina y el orlistato. La fentermina es la mitad de la antigua combinación fen-fen (Redux®), que causó problemas de la válvula cardiaca, muerte y pleitos para su fabricante en la década de 1990. La sibutramina (Meridia®) tiene unos efectos similares a los de las anfetaminas y recientemente se ha puesto en tela de juicio porque se sospecha que tiene efectos secundarios cardiovasculares. El orlistato (Xenical®) interfiere con la lipasa pancreática de modo que parte de las grasas consumidas no se digieren ni se absorben, lo que también interfiere en la absorción de las vitaminas liposolubles. Aunque es eficaz como agente de pérdida de peso, sus

MÁS DE CERCA Obesidad *(continuación)*

efectos secundarios, que incluyen diarrea y fugas anales, son incómodos de decir, por lo menos.

Algunos complementos de pérdida de peso sin receta médica afirman aumentar el metabolismo y quemar calorías a un ritmo acelerado que se ha probado resulta muy peligroso. Por ejemplo:

- Las cápsulas que contienen ácido úsnico, una sustancia química encontrada en algunos líquenes, daña los hepatocitos y ha provocado fallo hepático en algunos casos.
- Los complementos que contienen efedra son notorios; más de 100 muertes y 16.000 casos de problemas entre los que se incluyen apoplejías, ataques y cefaleas que se han referido.

Por lo que se refiere a tales complementos, las pruebas que se encuentran en la FDA muestran los productos inseguros. De ahí que se desconozca el auténtico alcance de las enfermedades causadas por complementos para perder peso.

Dietas de moda

Los productos y libros sobre dietas se venden bien, ¿pero alguna de las dietas de moda actuales funciona de verdad? ¿Son seguras? Por el momento, hay un duelo entre los promotores de las dietas bajas en hidratos de carbono (ricas en grasas y proteínas), como las dietas Atkins® y South Beach®, y los defensores de la tradicional dieta baja en grasas (rica en hidratos de carbono complejos). Los estudios clínicos revelan que las personas que siguen dietas bajas en hidratos de carbono pierden peso más rápidamente al principio, pero tienden a estancarse a los seis meses. Cuando la dieta continúa durante un año, los individuos con dietas bajas en grasas pierden tanto peso como los de las dietas bajas en hidratos de carbono y experimentan menos episodios de diarrea, estreñimiento, cefalea y calambres musculares. Aunque resulta preocupante el hecho de que las dietas bajas en hidratos de carbono puedan promover unos valores no deseados de lípidos y colesterol plasmático, la mayor parte de los individuos no ha estado en esa situación.

Algunas dietas líquidas ricas en proteínas sin receta médica contienen proteínas de tan mala calidad (incompletas) que son realmente peligrosas. Las peores son las que contienen la proteína colágeno en vez de fuentes de leche o de soja.

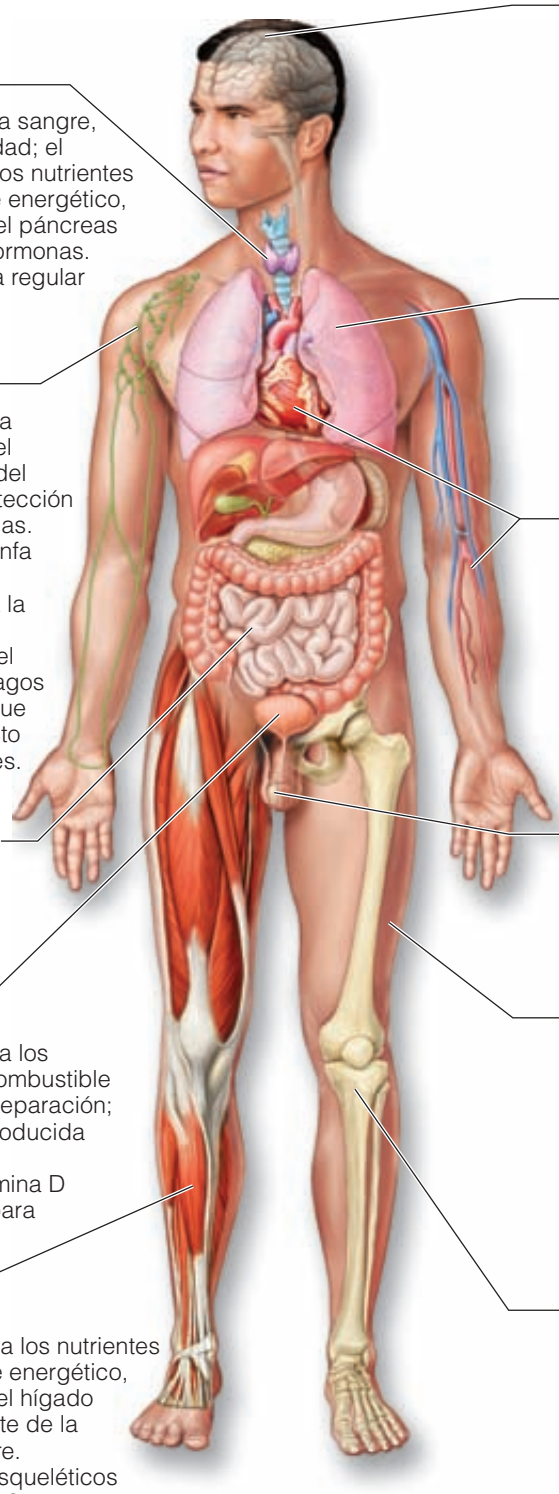
Cirugía

A veces la desesperación absoluta promueve soluciones quirúrgicas, como cerrarse la mandíbula o realizarse una gastroplastia, la cirugía de *by-pass* intestinal, la desviación biliopancreática más radical (BPD) y la liposucción. La BPD "reorganiza" el tracto digestivo: se extraen hasta dos tercios del estómago; el intestino delgado se corta por la mitad y una parte se sutura a la abertura del estómago. Puesto que el jugo pancreático y la bilis se desvían de este "intestino nuevo", se digieren y absorben pocos nutrientes (y ninguna grasa). Aunque los pacientes pueden comer todo lo que deseen sin ganar peso, la BPD es la principal operación quirúrgica y conlleva todos sus riesgos. La liposucción, la extracción del tejido adiposo mediante succión para remoldear el cuerpo, elimina grasa. Al igual que la BPD, conlleva todos los riesgos de la cirugía y, a menos que el paciente cambie sus hábitos alimentarios, los depósitos de grasa restantes en alguna parte del cuerpo se llenarán en exceso.

Desafortunadamente, no hay ninguna solución mágica para la obesidad. La mejor forma de perder peso para la mayoría de nosotros es tomar menos calorías de las grasas y aumentar la actividad física. La inquietud física ayuda, al igual que el ejercicio de resistencia, que aumenta la masa muscular (el músculo consume más energía en reposo que grasa). Los bajos niveles de actividad estimulan realmente el consumo de alimentos, mientras que el ejercicio físico reduce el aporte alimentario y aumenta el índice metabólico no sólo durante la actividad, sino también durante algún tiempo después. La única forma de perder peso es realizar cambios en nuestros hábitos dietéticos y de ejercicio a lo largo de nuestra vida.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL
SISTEMA DIGESTIVO *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema digestivo

Sistema endocrino

- El hígado extrae hormonas de la sangre, de modo que termina su actividad; el sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el combustible energético, el crecimiento y la reparación; el páncreas posee células que producen hormonas.
- Las hormonas locales ayudan a regular la función digestiva.

Sistema linfático/inmunidad

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el funcionamiento normal; el HCl del estómago proporciona una protección no específica contra las bacterias.
- Los vasos quilíferos drenan la linfa grasa de los órganos del tracto digestivo y la transportan hasta la sangre; los ganglios linfáticos agregados y el tejido linfoide del mesenterio alojan a los macrófagos y a las células inmunológicas que protegen a los órganos del tracto digestivo frente a las infecciones.

Sistema urinario

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el combustible energético, el crecimiento y la reparación; excreta algo de la bilirrubina producida por el hígado.
- Los riñones transforman la vitamina D en su forma activa, necesaria para la absorción de calcio.

Sistema muscular

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el combustible energético, el crecimiento y la reparación; el hígado extrae el ácido láctico, resultante de la actividad muscular, de la sangre.
- La actividad de los músculos esqueléticos aumenta la motilidad del tracto GI.

Sistema nervioso

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el funcionamiento neural normal.
- Los controles neurales de la función digestiva; en general, las fibras parasimpáticas aceleran la actividad digestiva, mientras que las fibras simpáticas la inhiben; el reflejo y los controles voluntarios de la defecación.

Sistema respiratorio

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el metabolismo energético, el crecimiento y la reparación.
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno y expulsa el dióxido de carbono producido por los órganos del sistema digestivo.

Sistema cardiovascular

- El sistema digestivo proporciona nutrientes al corazón y a los vasos sanguíneos; absorbe el hierro necesario para la síntesis de hemoglobina; absorbe el agua necesaria para el volumen de sangre normal.
- El sistema cardiovascular transporta los nutrientes absorbidos por el tubo digestivo a todos los tejidos del organismo; distribuye las hormonas del tracto digestivo.

Sistema reproductor

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el combustible energético, el crecimiento y la reparación, así como la nutrición adicional necesaria para soportar el crecimiento fetal.

Sistema integumentario

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el combustible energético, el crecimiento y la reparación; suministra las grasas que proporcionan aislamiento en los tejidos dérmico y subcutáneo.
- La piel sintetiza la vitamina D necesaria para la absorción de calcio del intestino; protege mediante un alojamiento.

Sistema esquelético

- El sistema digestivo proporciona los nutrientes necesarios para el crecimiento y la reparación; absorbe el calcio necesario para las sales óseas.
- El sistema esquelético protege a algunos órganos digestivos mediante los huesos; las cavidades almacenan algunos nutrientes (por ejemplo, el calcio, las grasas).

RESUMEN

A continuación se ofrecen las referencias de otros materiales de estudio útiles también para el repaso de los aspectos clave del capítulo 14.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

PARTE I: ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL SISTEMA DIGESTIVO (págs. 469–493)

Anatomía del sistema digestivo (págs. 469-481)

1. El sistema digestivo consta del tubo digestivo (un tubo hueco que se extiende de la boca al ano) y varios órganos digestivos secundarios. La pared del tubo digestivo presenta cuatro capas de tejido principales: mucosa, submucosa, capa muscular externa de la mucosa y serosa. La serosa (peritoneo visceral) es la continuación del peritoneo parietal, que cubre la pared de la cavidad abdominal.

   WEB Actividad: Chapter 14, Digestive System; Basic Structure of the Alimentary Wall.

2. Órganos del tubo digestivo:
   a. La boca (o cavidad oral) contiene los dientes y la lengua y está limitada por los labios, las mejillas y el paladar. Las tonsilas vigilan su margen posterior.
   b. La faringe es un tubo muscular que proporciona una vía para el alimento y el aire.
   c. El esófago es un tubo muscular que completa la vía de la faringe al estómago.
   d. El estómago es un órgano con forma de C ubicado en el lado izquierdo del abdomen por debajo del diafragma. Los alimentos entran en él a través del esfínter cardioesofágico y lo abandonan para entrar en el intestino delgado a través del esfínter pilórico. El estómago posee una tercera capa oblicua de músculo en su pared que le permite realizar movimientos para mezclar o machacar. Las glándulas gástricas producen ácido clorhídrico, pepsina, renina, muco, gastrina y el factor intrínseco. El moco protege al propio estómago para evitar que sea digerido.
   e. El intestino delgado con forma de tubo está suspendido desde la pared del cuerpo posterior mediante el mesenterio. Sus subdivisiones son el duodeno, el yeyuno y el íleon. La digestión y absorción de alimentos se completa aquí. El jugo pancreático y la bilis entran en el duodeno a través de un esfínter en el extremo distal del conducto de la bilis. Las microvellosidades, las vellosidades y los pliegues circulares aumentan la zona superficial del intestino delgado para mejorar la absorción.
   f. El intestino grueso enmarca el intestino delgado. Las subdivisiones son el ciego; el apéndice; el colon ascendente, transverso y descendente; el colon sigmoide; el recto y el canal anal. El intestino grueso distribuye los residuos de alimentos sin digerir (heces) hasta el exterior del cuerpo.

   IP Digestive System Topic: Anatomy Review, pages. 1-8.

   IP Digestive System Topic: Digestion and Absorption, page. 1-8.

5. Las glándulas salivares (tres pares: parótidas, submandibulares y sublinguales) segregan saliva en la cavidad oral. La saliva contiene moco y líquidos serosos. El componente seroso contiene amilasa salivar.
6. Se forman dos grupos de dientes. El primer grupo consta de 20 dientes primarios que empiezan a aparecer a los seis meses y que se han perdido a los 12 años. Los dientes permanentes (32) empiezan a sustituir a los dientes primerizos en torno a los siete años. Un diente típico consta de la corona cubierta de esmalte y de la raíz cubierta de cemento. La mayor parte del diente está formada por la dentina, que es parecida al hueso. La cavidad pulpar contiene vasos sanguíneos y nervios.
7. Varios órganos secundarios conducen sustancias por el tubo alimentario.
   a. El páncreas es una glándula suave que se encuentra en el mesenterio entre el estómago y el intestino delgado. El jugo pancreático contiene enzimas (que digieren todas las categorías de alimentos) en un líquido alcalino.
   b. El hígado es un órgano de cuatro lóbulos que se superpone al estómago. Su función digestiva es la producción de bilis, que conduce a través del intestino delgado.
   c. La vesícula biliar es un saco muscular que almacena y concentra bilis. Cuando no se produce la digestión de grasas, la bilis continuamente fabricada vuelve a subir por el conducto cístico y entra en la vesícula biliar.

Funciones del sistema digestivo (págs. 481-493)

1. Los alimentos deben descomponerse en sus bloques de formación para poder absorberse. Los bloques de formación de los hidratos de carbono son azúcares simples (o monosacáridos). Los bloques de formación de las proteínas son los aminoácidos. Los bloques de formación de las grasas (o lípidos) son los ácidos grasos y el glicerol.

   WEB Actividad: Chapter 14, Gastrointestinal Tract Activities.

2. La descomposición mecánica (masticación) y química de los alimentos comienza en la boca. La saliva contiene moco, que ayuda a unir el alimento para formar un bolo, y amilasa salivar, que comienza la descomposición química del almidón. La saliva se segrega en respuesta a la presencia de alimento en la boca, la presión mecánica y los estímulos físicos. En la boca no se produce prácticamente la absorción de ningún alimento.

3. La acción de tragar tiene dos fases: la fase bucal es voluntaria; la lengua empuja el bolo a la faringe. La fase faringoesofágica involuntaria implica el cierre de las vías nasales y respiratorias en el transporte del alimento hasta el estómago mediante la peristalsis.

4. Cuando el alimento entra en el estómago, la secreción gástrica se estimula mediante los nervios vagos y mediante la gastrina (una hormona local). El ácido clorhídrico activa la pepsina (enzima de digestión de las proteínas), y entonces comienza la digestión química de las proteínas. El alimento también se descompone mecánicamente por la acción de machacar que realizan los músculos del estómago. El movimiento del quimo en el intestino delgado se controla mediante el reflejo enterogástrico.

   IP Digestive System Topic: Secretion, pages 4-8.

5. La digestión química de las grasas, proteínas e hidratos de carbono se completa en el intestino delgado mediante las enzimas intestinales y, lo que es más importante, mediante las enzimas pancreáticas. El jugo pancreático alcalino neutraliza el quimo ácido y proporciona el entorno adecuado para que estas enzimas trabajen. Tanto el jugo pancreático (la única fuente de lipasas) como la bilis (producida por el hígado) son necesarias para la descomposición y absorción normales de grasas. La bilis actúa como un emulsionante de las grasas. La secretina y la colecistoquinina (hormonas producidas por el intestino delgado) estimulan la liberación de bilis y de jugo pancreático. Los movimiento segmentales mezclan los alimentos; los movimientos peristálticos mueven los productos alimentarios a lo largo del intestino delgado. La mayor parte de la absorción de nutrientes se produce por el transporte activo en la sangre capilar de las vellosidades. Las grasas se absorben por difusión en la sangre capilar y los quilíferos de las vellosidades.

6. El intestino grueso recibe residuos alimenticios indigeribles cargados de bacterias. Las actividades del intestino grueso son la absorción de agua y sales y de las vitaminas producidas por las bacterias que residen en él. Cuando las heces se distribuyen hasta el recto mediante peristalsis y peristalsis masivas, se inicia el reflejo de defecación.

   IP Digestive System Topic: Digestion and Absorption, pages. 3-7.

   IP Digestive System Topic: Motility, pages. 3-7.

   IP Digestive System Topic: Secretion, pages. 9-12.

PARTE II: NUTRICIÓN Y METABOLISMO (págs. 493-506)

Nutrición (págs. 493-495)

1. La mayoría de los alimentos se utilizan como combustibles para formar ATP, excepto las proteínas.

2. Un nutriente es una sustancia de los alimentos que se utiliza para promover el crecimiento, el mantenimiento y la reparación del organismo.

3. Los principales nutrientes son los hidratos de carbono, los lípidos y las proteínas. Las vitaminas y los minerales son necesarios en cantidades mínimas.

4. Los hidratos de carbono dietéticos (azúcares y almidón) se incluyen en las frutas y verduras (productos vegetales).

5. Los lípidos dietéticos se encuentran en la carne, los productos lácteos y los aceites vegetales.

6. Los huevos, la leche, la carne, las aves y el pescado son fuentes ricas en proteínas.

7. Las vitaminas, que se encuentran principalmente en las frutas, las verduras y la leche, funcionan principalmente a modo de coenzimas en el organismo.

8. Los minerales, más abundantes en las verduras y las legumbres, son importantes principalmente para la actividad enzimática. El hierro es importante para producir hemoglobina, y el calcio es fundamental para la formación ósea, la coagulación de la sangre y las actividades de secreción.

Metabolismo (págs. 495-506)

1. El metabolismo incluye todas las reacciones de descomposición química (catabólicas) y de formación (anabólicas) necesarias para la vida.

2. Los hidratos de carbono, de los cuales la glucosa es el más importante, son el principal combustible energético del organismo. A medida que se oxidan la glucosa, se forma dióxido de carbono, agua y ATP. Las rutas secuenciales del catabolismo de la glucosa son la glucólisis, que se produce en el citosol, así como el ciclo de Krebs y la cadena de transporte de electrones (que funcionan en la mitocondria). Durante la hiperglucemia, la glucosa se almacena como glucógeno o se convierte en grasa. En la hipoglucemia, la glucogenólisis, la gluconeogénesis y la descomposición de grasas se producen para restablecer los niveles normales de glucosa en la sangre.

   WEB Actividad: Chapter 14, Overview of Cellular Respiration.

3. Las grasas aíslan al cuerpo, protegen los órganos, forman algunas estructuras celulares (membranas y vainas de mielina) y proporcionan energía de reserva. Cuando el suministro de hidratos de carbono es limitado, se oxidan más grasas para producir ATP. La descomposición excesiva de las grasas hace que la sangre se vuelva ácida. El exceso de grasa dietética se almacena en el tejido subcutáneo y en otros depósitos de grasa.

4. Las proteínas forman el conjunto de la estructura celular y la mayoría de las células funcionales. Se conservan cuidadosamente mediante células corporales. Las células tisulares absorben los aminoácidos de forma activa en la sangre; aquellos que no pueden producirse mediante las células corporales se denominan *aminoácidos esenciales*. Los aminoácidos se oxidan para formar ATP principalmente cuando no hay otras fuentes de combustible disponibles. El amoníaco, liberado en forma de aminoácidos, se

cataboliza, se desintoxica mediante las células hepáticas que lo combinan con dióxido de carbono para formar urea.

5. El hígado es el principal órgano metabólico del organismo. Sus células extraen los nutrientes de la sangre portal hepática. Realiza la glucogénesis, la glucogenólisis y la gluconeogénesis para mantener la homeostasis de los niveles de glucosa en la sangre. Sus células producen proteínas sanguíneas y otras sustancias y las liberan en la sangre. Las grasas las queman las células hepáticas para proporcionar algo de su energía (ATP); el exceso se almacena o se libera en la sangre en formas más simples que pueden utilizar otras células tisulares. Las células fagocíticas eliminan las bacterias de la sangre portal hepática. La mayor parte del colesterol se produce en el hígado; los productos descompuestos del colesterol se segregan en la bilis. Las grasas y el colesterol se transportan en la sangre gracias a las lipoproteínas. El LDL transporta el colesterol hasta las células del organismo; el HDL transporta el colesterol hasta el hígado para su degradación. El colesterol se utiliza para formar moléculas funcionales y por algunos motivos estructurales; no se utiliza para la síntesis de ATP.

6. Existe un equilibrio dinámico entre la absorción de energía y la producción total de energía (calor + trabajo + almacenamiento energético). La interferencia con este equilibrio provoca obesidad o malnutrición, que lleva al desgaste del organismo.

7. Cuando los tres tipos principales de alimentos se oxidan para obtener energía, producen distintas cantidades de energía. Los hidratos de carbono y las proteínas producen 4 kcal/g; las grasas producen 9 kcal/g. El índice metabólico basal (BMR) es la cantidad total de energía que utiliza el organismo cuando el individuo se encuentra en un estado basal (en reposo). La edad, el sexo, el área superficial del cuerpo y la cantidad de tiroxina producida influyen en el BMR.

8. El índice metabólico total (TMR) es el número de calorías que utiliza el organismo para realizar todas las actividades diarias necesarias. Aumenta drásticamente cuando aumenta la actividad muscular. Cuando el TMR es igual al aporte calórico total, el peso permanece constante.

9. Puesto que los alimentos se catabolizan para formar ATP, más del 60% de la energía liberada se expulsa en forma de calor, para templar el organismo. El hipotálamo inicia los procesos de pérdida de calor (la radiación calorífica de la piel y la evaporación del sudor) o los procesos que promueven el calor (la vasoconstricción de los vasos sanguíneos de la piel y la acción de tiritar), necesarios para mantener la temperatura corporal dentro de unos límites normales. La fiebre (hipertermia) indica que la temperatura corporal se ha regulado a un nivel mayor del normal.

PARTE III: FORMACIÓN Y DESARROLLO DEL SISTEMA DIGESTIVO Y EL METABOLISMO (págs. 506-507)

1. El tracto digestivo forma una especie de tubo hueco. Las glándulas secundarias forman una especie de bolsillos externos de este tubo.

2. Los defectos congénitos comunes incluyen el paladar fisurado, labio fisurado y fístula traqueoesofágica, que interfieren en la nutrición normal. Los defectos congénitos comunes del metabolismo son la fenilcetonuria (PKU) y la fibrosis cística (CF).

3. Varias enfermedades inflamatorias plagan el sistema digestivo a lo largo de la vida. La apendicitis es común en los adolescentes, la gastroenteritis y el envenenamiento alimentario pueden producirse en cualquier momento (si se dan los factores irritantes adecuados), las úlceras y los problemas de la vesícula biliar aumentan en la mediana edad. La obesidad y la diabetes *mellitus* son molestas después de la mediana edad.

4. La eficiencia de todos los procesos del sistema digestivo disminuye en la vejez. Los carcinomas gastrointestinales, como el cáncer de estómago y de colon, aparecen con mayor frecuencia en la población anciana.

WEB Actividad: Chapter 14, Gastrointestinal Case Study.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. ¿Cuál de estos términos son sinónimos?
   a. Tracto gastrointestinal.
   b. Sistema digestivo.
   c. Tracto digestivo.
   d. Tubo digestivo.

2. Un órgano digestivo que *no* forma parte del tubo digestivo es
   a. el estómago.
   b. el hígado.
   c. el intestino delgado.
   d. el intestino grueso.
   e. la faringe.

3. La capa tisular del tubo GI responsable de las acciones de segmentación y peristalsis es la
   a. serosa.
   b. mucosa.
   c. capa muscular externa de la mucosa.
   d. submucosa.

4. Une cada órgano digestivo que aparece en la columna B con su función correspondiente de la columna A.

Columna A	Columna B
____1. Produce bilis.	a. Glándulas salivares.
____2. Absorbe agua.	b. Esófago.
____3. La acción de machacar se produce aquí.	c. Estómago.
____4. Tubo muscular que une la laringofaringe y el estómago.	d. Intestino delgado.
____5. Produce secreciones endocrinas y exocrinas.	e. Hígado.
____6. Segrega una sustancia que inicia la digestión de hidratos de carbono.	f. Vesícula biliar.
____7. Almacena bilis.	g. Páncreas.
____8. La segmentación se produce aquí.	h. Intestino grueso.

5. ¿En qué parte del estómago se producen las ondas peristálticas más fuertes?
   a. En el cuerpo.
   b. En la región cardiaca.
   c. En el fondo.
   d. En el píloro.

6. ¿Cuál de estos órganos se encuentra en la región hipocondríaca derecha del abdomen?
   a. El estómago.
   b. El bazo.
   c. El ciego.
   d. El hígado.

7. La liberación de CCK produce
   a. la contracción del músculo liso de las papilas duodenales.
   b. una mayor actividad de las células hepáticas.
   c. la contracción de la pared de la vesícula biliar.
   d. la liberación de enzimas a través del páncreas.

8. El pH del quimo que entra en el duodeno se ajusta mediante
   a. la bilis.
   b. el jugo intestinal.
   c. las secreciones enzimáticas del páncreas.
   d. las secreciones ricas en bicarbonato del páncreas.

9. Una niña de tres años es recompensada con un abrazo porque ya es capaz de ir completamente sola al baño. ¿Qué músculo ha aprendido a controlar?
   a. El elevador del ano.
   b. El esfínter anal interno.
   c. Los oblicuos internos y externos.
   d. El esfínter anal externo.

10. Las hormonas que actúan para reducir el nivel de glucosa en la sangre incluyen
    a. la insulina.
    b. el glucagón.
    c. la epinefrina.
    d. la hormona de crecimiento.

11. ¿Qué sucesos se producen poco después de comer?
    a. El uso de aminoácidos como principal fuente de energía.
    b. La lipogénesis (y el depósito de grasas).
    c. La descomposición de las reservas de grasas.
    d. Una mayor absorción de glucosa por parte de los músculos esqueléticos y otros tejidos del organismo.

12. El material que forma el conjunto de un diente es
    a. el cemento.
    b. la dentina.
    c. el esmalte.
    d. la pulpa.

13. Completa esta afirmación. En la glucólisis se oxida _____ y se reduce _____.
    a. la coenzima que contiene vitaminas; la glucosa.
    b. el ATP; el ADP.
    c. la glucosa; el oxígeno.
    d. la glucosa; la coenzima que contiene vitaminas.

Respuesta breve

14. Realiza un simple dibujo de los órganos del tubo digestivo y escribe el nombre de cada órgano.

15. Añade tres nombres al dibujo (las glándulas salivares, el hígado y el páncreas) y utiliza flechas para mostrar el lugar en que estos órganos vacían sus secreciones en el tubo digestivo.

16. Nombra las capas de la pared del tubo digestivo desde la luz hacia afuera.

17. ¿Qué es el mesenterio? ¿Y el peritoneo?

18. Nombra las subdivisiones del intestino delgado en dirección proximal–distal. Haz lo mismo para las subdivisiones del intestino grueso.

19. ¿Qué sustancia cubre la corona dental? ¿Qué sustancia forma el conjunto del diente? ¿Qué es la pulpa y dónde se encuentra?

20. Nombra los tres pares de glándulas salivares.

21. Imagina que has estado masticando un trozo de pan durante cinco o seis minutos. ¿Cómo crees que cambiará su sabor durante este tiempo? ¿Por qué?

22. Nombra dos regiones del tubo digestivo donde se produzca la descomposición mecánica de los alimentos, y explica el modo en que se realiza en estas regiones.

23. ¿Cómo se protege el estómago a sí mismo para evitar ser digerido?

24. La bilis emulsiona las grasas. Define *emulsionar*.

25. ¿Cuál es la función de la gastrina?

26. Describe las dos fases de la acción de tragar.

27. ¿En qué se diferencian los movimientos segmentales y peristálticos?

28. Un queso cremoso untado en un bocadillo contiene proteínas, hidratos de carbono y grasas. Describe lo que le sucede al bocadillo cuando te lo comes en relación con los sucesos que se producen en la ingestión, la digestión, la absorción y la defecación.
29. ¿Qué sustancias se absorben en el intestino grueso?
30. ¿De qué se componen las heces?
31. Define *reflejo de defecación, estreñimiento* y *diarrea*.
32. Define *metabolismo, anabolismo* y *catabolismo*.
33. Define *gluconeogénesis, glucogenólisis* y *glucogénesis*.
34. ¿Qué grupo alimentario es el más importante para la formación de estructuras celulares?
35. ¿Cuál es el resultado perjudicial cuando se queman demasiadas grasas para producir ATP? Nombra dos situaciones que pueden producir este resultado.
36. ¿Cuántas calorías se producen cuando se oxida un gramo de hidratos de carbono? ¿Y un gramo de proteínas? ¿Y un gramo de grasas? Si acabas de comer 100 gramos de alimentos con un 20% de proteínas, un 30% de hidratos de carbono y un 10% de grasas, ¿cuántas kilocalorías has consumido?
37. Parte de la energía liberada a medida que se oxidan los alimentos es capturada para producir ATP. ¿Qué sucede con el resto de energía?
38. Nombra dos formas mediante las que se pierde el calor corporal.
39. ¿Qué es la fiebre? ¿Qué indica su presencia?
40. Nombra tres problemas del sistema digestivo comunes en los adultos de mediana edad. Nombra un problema común entre los adolescentes. Nombra tres problemas comunes en la vejez.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

41. Después de cortar madera durante unas dos horas en una tarde calurosa pero con brisa, Juan se tambalea hasta casa y, a continuación, se desmaya. Su camiseta está empapada en sudor, y su pulso es débil y rápido. ¿Padece insolación o agotamiento a causa del calor? Explica tu razonamiento, y anota qué deberías hacer para ayudar a Juan para que se recupere.
42. Enrique es hospitalizado con una neumonía bacteriana. Cuando vas a visitarle, le castañetean los dientes, tiene la piel fría y pegajosa al contacto y se queja de que tiene frío aunque su habitación es bastante caliente. Explica sus síntomas.
43. Una mujer joven se realiza exhaustivos análisis para determinar la causa de sus dolores de estómago. Se le diagnostican úlceras gástricas. Se le prescribe un fármaco antihistamínico y se la envía a casa. ¿Cuál es el mecanismo de su medicación? ¿Qué problemas potencialmente mortales pueden ser el resultado de una úlcera poco tratada? ¿Por qué el médico de la clínica advierte a la mujer que no tome aspirinas?
44. Continuando con la pregunta anterior, la úlcera de la mujer empeora. Empieza a referir dolor de espalda. El médico descubre que el dolor de espalda se produce porque el páncreas ya está dañado. Utiliza la lógica para deducir cómo es posible que una úlcera gástrica perforante pueda dañar el páncreas.
45. Benito, un niño de seis años de edad alérgico a la leche, tiene las piernas extremadamente curvadas. ¿Qué problema sospechas que presenta, y cuál es la relación con dejar de beber leche?
46. Una mujer que acaba de ser madre está preocupada por su bebé de una semana. El bebé empieza a ponerse azul y se ahoga cuando ella lo alimenta. ¿De qué anomalía de desarrollo sospechas que puede tratarse? ¿Y cómo se corrige?
47. Una chica anoréxica muestra un elevado nivel de acetona en la sangre. ¿Cómo se llama esta enfermedad y cuál es la causa?
48. Cada año se encuentran docenas de personas mayores muertas en sus fríos apartamentos, víctimas de hipotermia. ¿Qué es la hipotermia y cómo se evita?
49. El señor Aguirre presenta una diarrea continua durante todo el día y se está debilitando intensamente. ¿Por qué se preocupa su enfermera?
50. Juana ha estado tomando antibióticos durante mucho tiempo. Una visita a su médico indica que presenta carencia de vitamina K. ¿Cuál es la relación causa-efecto en este caso?

CAPÍTULO 15

El aparato urinario

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, tendrás un conocimiento práctico sobre las funciones el aparato urinario y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- El aparato urinario limpia el organismo de desechos nitrogenados, a la vez que regula el balance hídrico y electrolítico, y el equilibrio ácido-base de la sangre.

NUESTROS OBJETIVOS

Riñones (págs. 518-528)

- Localizar los riñones en el cuerpo.
- Identificar las siguientes regiones de un riñón (sección longitudinal): hilio, corteza, médula, pirámides renales, cálices, pelvis y columna renal.
- Saber que la nefrona es la unidad estructural y funcional del riñón y describir su anatomía.
- Describir el proceso de la formación de la orina, e identificar las áreas de la nefrona responsables de la filtración, la reabsorción y la secreción.
- Describir la función de los riñones en la excreción de los desechos con parte de nitrógeno.
- Definir *poliuria, anuria, oliguria* y *diuresis.*
- Describir la composición de la orina normal.
- Enumerar los componentes anormales de la orina.

Uréteres, vejiga urinaria y uretra (págs. 528-531)

- Describir la estructura general y la función de los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra.
- Comparar el recorrido y la longitud de la uretra masculina y la femenina.
- Definir *micción*.
- Describir la diferencia en el control de los esfínteres interno y externo.
- Enumerar tres problemas comunes del tracto urinario.

Equilibrio de fluidos, electrolítico y ácido-base (págs. 531-537)

- Nombrar y localizar los tres principales compartimentos de fluidos del organismo.
- Explicar la función de la hormona antidiurética en la regulación del balance hídrico en el riñón.
- Explicar la función de la aldosterona en el balance de potasio y sodio en la sangre.
- Comparar y contrastar la velocidad relativa de los amortiguadores, le sistema respiratorio, y los riñones al mantener el equilibrio ácido-base en la sangre.

Formación y desarrollo y función del aparato urinario (págs. 538, 540)

- Describir tres problemas congénitos comunes del sistema urinario.
- Describir el efecto del envejecimiento en el funcionamiento del sistema urinario.

Los riñones, que mantienen la pureza y constancia de los fluidos internos, son ejemplos perfectos de los órganos homeostáticos. Al igual que los trabajadores sanitarios que trabajan para mantener el suministro de agua potable y eliminar los desechos, los riñones no se aprecian normalmente hasta que hay un problema. Cada día, los riñones filtran litros de fluido del torrente sanguíneo. A continuación procesan el filtrado, permitiendo que los desechos y los iones excesivos sean expulsados del organismo en la orina, al mismo tiempo que devuelven a la sangre las sustancias necesarias en su justa proporción. Aunque los pulmones y la piel también desempeñan una función importante en la excreción, los riñones tienen su mayor responsabilidad en eliminar los desechos nitrogenados, las toxinas y los fármacos del organismo.

La eliminación de los desechos e iones en exceso es únicamente una parte del trabajo de los riñones. A medida que realizan estas funciones excretorias, también regulan el volumen de la sangre y la composición química para que se mantenga el equilibrio entre el agua y las sales, y entre los ácidos y bases. Francamente, esto sería un trabajo complicado para un ingeniero químico, pero los riñones lo hacen de forma eficaz la mayoría del tiempo.

Los riñones también tienen otras funciones reguladoras: producen la enzima *renina,* ayudan a regular la presión sanguínea, y su hormona *eritropoyetina* estimula la producción de glóbulos rojos en la médula ósea (véase el Capítulo 10). Las células renales también convierten la vitamina D en su forma activa.

Los riñones por sí mismos realizan las funciones descritas y completan el proceso de la orina. Los otros órganos del **aparato urinario** (los uréteres, la vejiga y la uretra, Figura 15.1) sirven de almacenes temporales de la orina y de canales transportadores para llevarlos de una zona del cuerpo a otra.

Riñones

Localización y estructura

Aunque muchos piensan que los riñones se localizan en la parte baja de la espalda, ésta *no* es localización correcta. Por el contrario, estos órganos pequeños, de color rojo oscuro y con forma de judías se sitúan en la pared dorsal del cuerpo en una posición *retroperitoneal* (por debajo del peritoneo parietal) en la región lumbar *superior*. Los riñones se extienden de la vértebra T_{12} a la L_3; por lo que están protegidos por la parte baja de la caja torácica. El riñón derecho se encuentra ligeramente más bajo que el izquierdo, a causa del hígado. El riñón de un adulto mide aproximadamente 12 cm de largo, 6 cm de ancho y 3 cm de grosor, más o menos como el tamaño de una pastilla grande de ja-

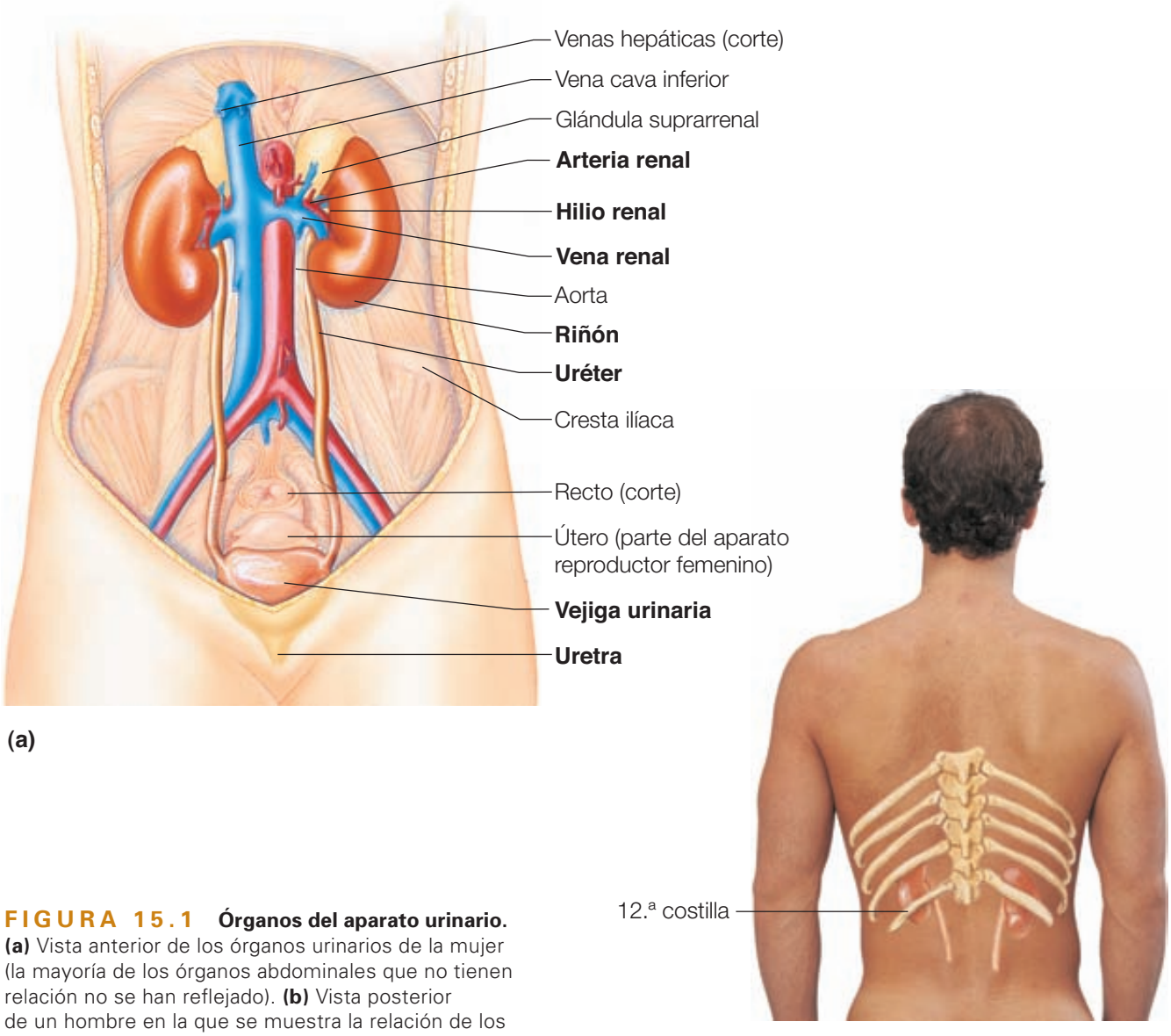


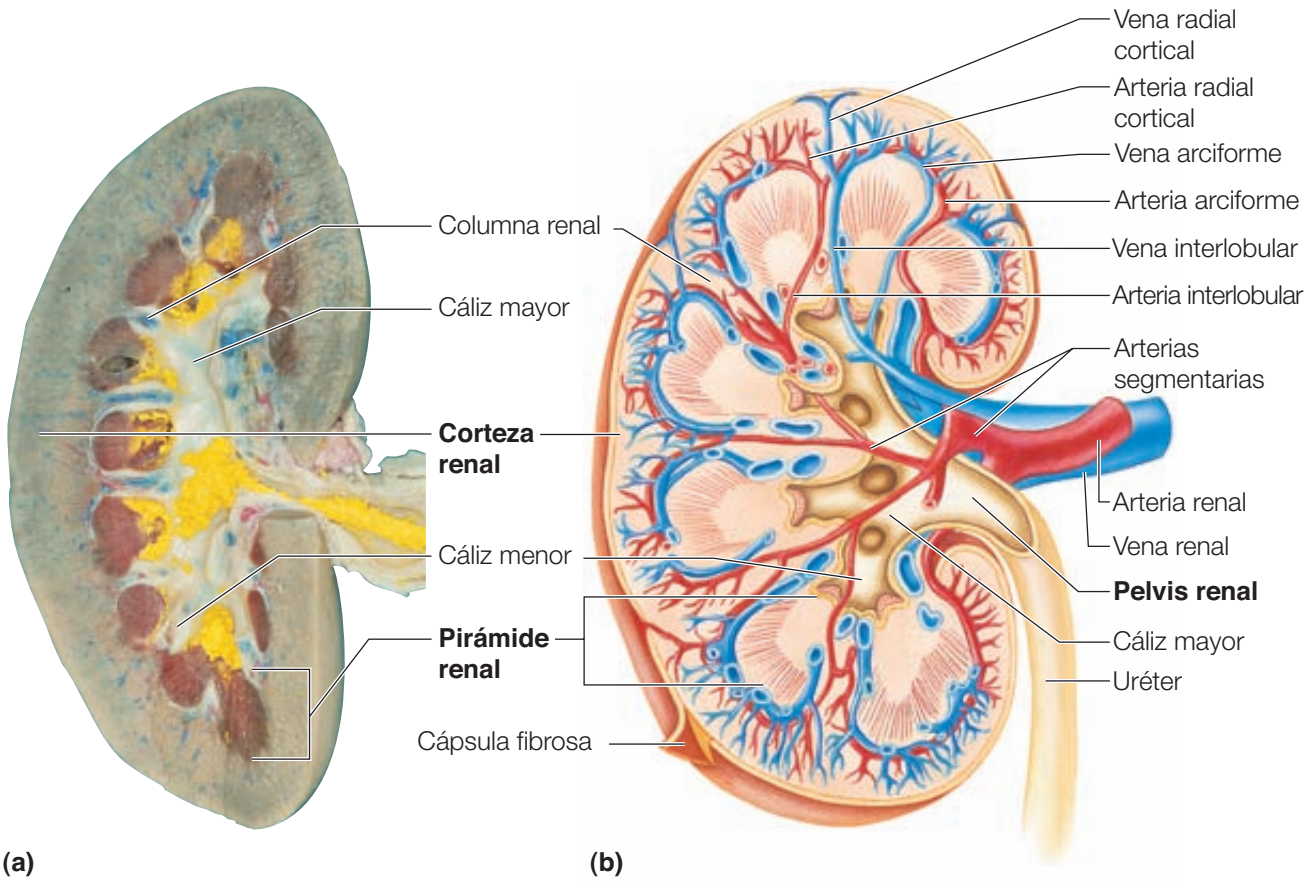
FIGURA 15.1 Órganos del aparato urinario. **(a)** Vista anterior de los órganos urinarios de la mujer (la mayoría de los órganos abdominales que no tienen relación no se han reflejado). **(b)** Vista posterior de un hombre en la que se muestra la relación de los riñones con la decimosegunda costilla.

bón. Tiene forma convexa en el lateral y muestra una indentación media llamada *hilio renal.* Existen varias estructuras, entre ellas los uréteres, los vasos sanguíneos renales y los nervios, que entran o salen del riñón por el hilio (véanse las Figuras 15.1 y 15.2). En la parte superior de cada riñón, se encuentra la *glándula suprarrenal,* que forma parte del aparato endocrino y cuya función forma un órgano aparte.

Una *cápsula fibrosa* transparente envuelve cada riñón y le da un aspecto fresco y brillante. Una masa grasa, la *cápsula grasa perirrenal,* se dispone alrededor de los riñones y actúa como protección contra los golpes. La *fascia renal,* la cápsula más exterior, ancla cada riñón y ayuda a sostenerlo en su lugar contra los músculos de la pared torácica.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La grasa que rodea los riñones es extremadamente importante para mantenerlos en su posición normal. Si la cantidad de tejido graso disminuye (como en una pérdida rápida de peso), los riñones pueden descender, enfermedad conocida como *ptosis,* que crea problemas si los



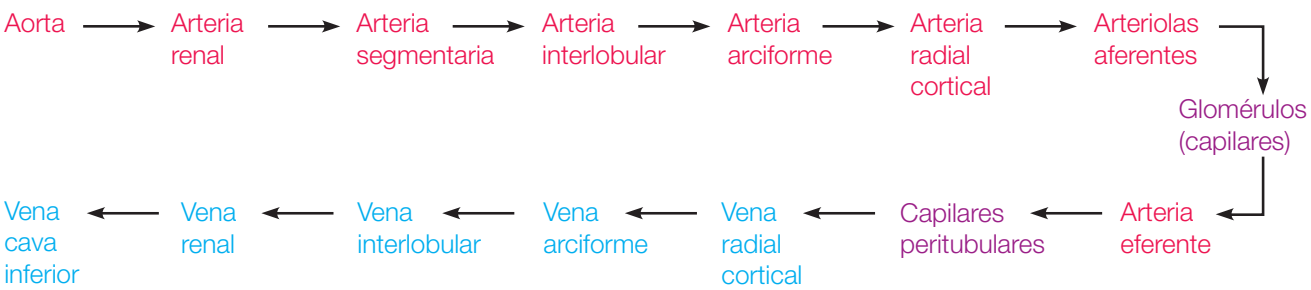


FIGURA 15.2 Anatomía interna del riñón.
(a) Fotografía de un riñón seccionado coronariamente. **(b)** Vista diagramática de un riñón seccionado coronariamente, ilustrando los vasos sanguíneos principales. **(c)** Resumen del recorrido de los vasos sanguíneos renales.

uréteres, que drenan la orina desde los riñones, se retuercen. En este caso, la orina que no puede pasar a través de los uréteres retrocede y ejerce presión sobre el tejido del riñón. Esta enfermedad, llamada **hidronefrosis,** puede causar un daño grave a los riñones. ▲

Cuando un riñón se corta a lo largo, se pueden distinguir tres partes diferentes (véase la Figura 15.2). La región más exterior, que tiene un color menos intenso, es la **corteza renal.** Dentro de la corteza se encuentra una zona de un rojo oscuro menos intenso,

que se conoce como la **médula renal.** La médula tiene muchas regiones básicas triangulares, las **pirámides medulares** o **renales.**

El lado mayor de cada pirámide está de cara a la corteza y su vértice está dirigido a la parte más baja de los riñones. Las pirámides están separadas por extensiones del tejido de la corteza, llamadas **columnas renales.**

La **pelvis renal** es una cavidad plana cerca del hilio. Como muestra la Figura 15.2, la pelvis continúa hasta el uréter cuando se acaba el hilio. Las extensiones de la pelvis, los cálices, forman zonas en forma de taza que encierran los vértices de las pirámides. Los **cálices** recogen la orina, que se drena continuamente desde los vértices de la pirámide a la pelvis renal. Entonces, la orina fluye de la pelvis al uréter, y este la transporta a la vejiga, donde será almacenada de forma temporal.

Suministro de sangre

Los riñones purifican continuamente la sangre y modifican su composición, por lo que no es de extrañar que tengan muy buen suministro de sangre (véase la Figura 15.2b y c).

Aproximadamente, un cuarto del suministro de sangre total del cuerpo pasa por los riñones cada minuto. La arteria que lleva la sangre a cada riñón se llama **arteria renal.**

A medida que la arteria se aproxima al hilio, se divide en **arterias segmentarias,** de cada una de las cuales salen varias ramas llamadas **arterias interlobulares,** que viajan por las columnas renales hasta llegar a la corteza. En el lugar donde se unen la corteza con la médula, las arterias interlobulares se convierten en **arterias arciformes,** que se curvan en las pirámides medulares.

Las pequeñas **arterias radiales corticales** se bifurcan de las arterias arciformes y proporcionan el suministro de sangre al tejido cortical. La sangre venosa que se drena desde los riñones a través de las venas traza el camino para el suministro arterial pero en la dirección opuesta (de las **venas radiales corticales** a las **venas arciformes,** a las **venas interlobulares,** a las **venas renales,** que emergen del hilio del riñon. No hay venas segmentarias).

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. Los riñones son retroperitoneales. ¿Qué significa esto?
2. María ha perdido peso últimamente, y de repente ha empezado a tener problemas con respecto a su flujo de orina. ¿Qué es lo que puede haber pasado y qué ha causado el problema?
3. Desde la parte más superficial del riñón a su uréter, nombra sus tres regiones principales.

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Nefronas y formación de la orina

Nefronas

Cada riñón contiene más de un millón de estructuras diminutas llamadas **nefronas.** Las nefronas son unidades funcionales y estructurales del riñón y, como tales, son responsables de la formación de la orina. La Figura 15.3 muestra la anatomía relativa de la situación de las nefronas en cada riñón.

Cada nefrona tiene dos estructuras principales: un **glomérulo,** que es un nudo de capilares, y un **túbulo renal.**

La parte cerrada del túbulo renal está alargada en forma de taza y envuelve completamente al glomérulo. Ésta porción del túbulo renal se llama **glomerular,** o **cápsula de Bowman.**

La capa más interior de la cápsula está compuesta por células que tienen forma de pulpo y que están altamente modificadas, las cuales reciben el nombre de **podocitos.** Los podocitos tienen un largo proceso de bifurcación en el que se entrelazan unos con otros y rodean al glomérulo.

Existen unas aperturas, los conocidos *poros de filtración molecular,* que producen la formación de una membrana porosa alrededor del glomérulo (Figura 15.3c y d).

El resto del túbulo mide aproximadamente 30 mm de largo. A medida que se extiende por la cápsula glomerular, se enrolla antes formando un bucle cerrado para más tarde volver a enrollarse antes de convertirse en un túbulo llamado **conducto colector.**

Estas regiones diferentes del túbulo tienen nombres específicos para cada una (véase la Figura 15.3); en orden desde la cápsula glomerular son **túbulo contorneado proximal, Asa de Henle,** y **túbulo contorneado distal.**

Las superficies luminales (es decir, las superficies expuestas al filtrado) de las células del túbulo en los túbulos contorneados proximales están cubiertas con ovillos densos, gracias a lo cual su área de superficie aumenta enormemente.

Estos ovillos también se producen en otras partes de las células del túbulo, pero esto ocurre en un número mucho más reducido.

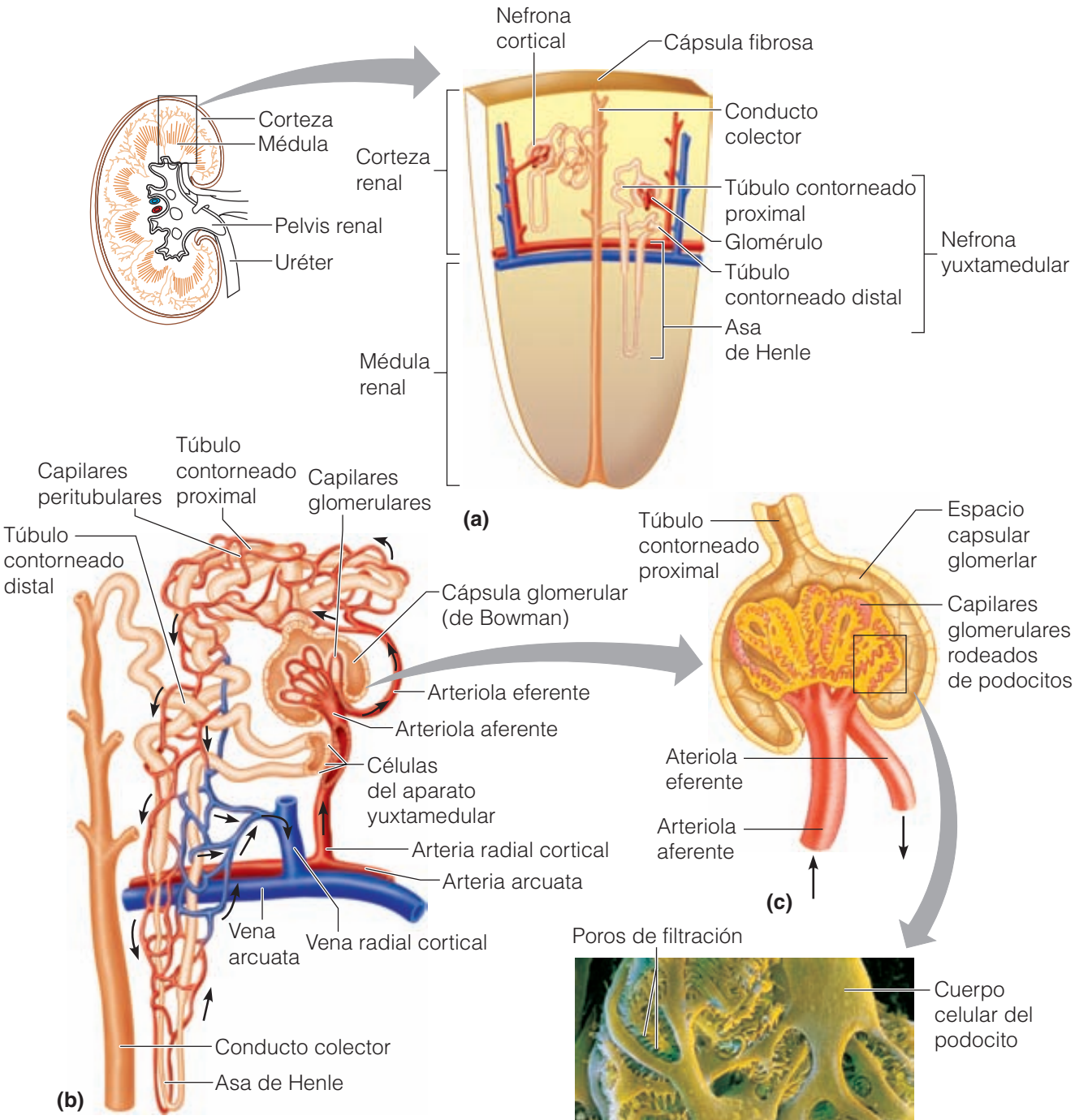


FIGURA 15.3 Estructura de la nefrona.
(a) La parte del tejido renal en forma de cuña indica la posición de las nefronas en el riñón. **(b)** La anatomía detallada de la nefrona y su suministro detallado de sangre. Una parte del túbulo contorneado distal y la arteriola aferente han sido seccionadas para mostrar la posición del aparato yuxtaglomerular. **(c)** La vista diagramática de la relación entre la capa más visceral de la cápsula glomerular con los capilares glomerulares. **(d)** Micrografía de los podocitos envolviendo los capilares glomerulares.

A la mayoría de las nefronas se las llama **nefronas corticales** como consecuencia de su localización en la corteza. En muy pocos casos, se las llama **nefronas yuxtamedulares,** ya que están situadas muy cerca de la unión corteza-médula, y sus asas de Henle se adentran en la médula (véase la Figura 15.3a). Los **conductos colectores,** los cuales reciben orina de muchas nefronas, se disponen hacia abajo a través de las pirámides medulares, dando a las pirámides un aspecto a rayas. Estos conductos transportan la orina final a los cálices y a la pelvis renal.

Cada una de las nefronas está asociada con dos conjuntos de capilares (los *capilares glomerulares,* ya mencionados, y los *capilares peritubulares.* El glomérulo se alimenta y se drena por las arteriolas. La **arteriola aferente,** que llega por la arteria radial cortical, es el vaso sanguíneo "de alimentación", y la **arteriola eferente** recibe la sangre que ha pasado por el glomérulo.

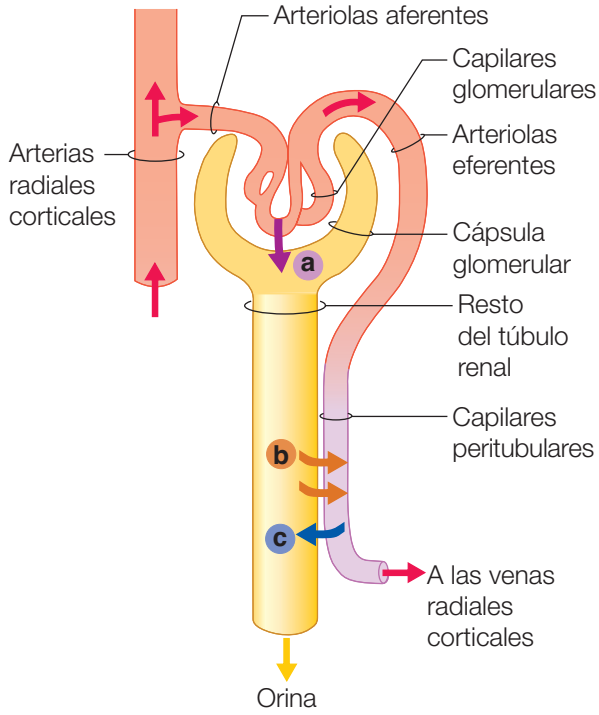
Los capilares glomerulares, especializados en la filtración, son diferentes a cualquier otro conjunto de capilares del organismo. A causa de ser alimentado *y* drenado por las arteriolas, que son vasos sanguíneos de alta resistencia, y porque la arteriola aferente tiene un diámetro más grande que la eferente, la presión sanguínea en los capilares glomerulares es mucho más alta que en cualquier otro conjunto de capilares. Esta presión extremadamente alta dirige los fluidos y los solutos (más pequeños que las proteínas) hacia el exterior de la sangre, dentro de la cápsula glomerular. A veces, las células de los túbulos reclaman hasta el 99% del filtrado, que devuelve a la sangre por los capilares peritubulares.

Los **capilares peritubulares** surgen de la arteriola aferente que drena el glomérulo. Al contrario de la alta presión de los glomerulares, estos capilares presentan una presión baja y son vasos porosos que están adaptados para la absorción en vez de para la filtración. Éstos rodean todo el túbulo renal, donde se encuentran en la posición ideal para recibir solutos y agua de las células tubulares, ya que estas sustancias se reabsorben del filtrado a través del túbulo. Los capilares peritubulares drenan estos productos a las venas interlobulares que abandonan la corteza.

Formación de la orina

La formación de la orina es el resultado de tres procesos: *filtración glomerular, reabsorción tubular* y *secreción tubular.* Cada uno de estos procesos aparece ilustrado en la Figura 15.4 y todos ellos se describen a continuación con más detalle.

P *¿Cómo afectaría la enfermedad hepática, en la cual el hígado no es capaz de fabricar muchas de las proteínas de la sangre, al proceso a? (Repasar el Capítulo 10 puede servir de ayuda).*



Leyenda:

a **Filtración glomerular:** el agua y los solutos más pequeños que las proteínas son dirigidos a través de las paredes capilares y los poros de la cápsula glomerular al túbulo renal.

b **Reabsorción tubular:** el agua, la glucosa, los aminoácidos, y los iones necesarios son transportados al exterior del filtrado por las células tubulares y entran en la sangre capilar.

c **Secreción tubular:** H^+, K^+, creatinina y tóxicos son eliminador de la sangre peritubular y secretados por las células tubulares al filtrado.

FIGURA 15.4 El riñón está representado esquemáticamente como una nefrona única y desenrrollada. En realidad, un riñón tiene miles de nefronas que actúan de forma paralela. La leyenda indica tres procesos por los cuales los riñones modifican la composición del plasma.

R *La cantidad de filtrado renal es una función de la presión sanguínea y la presión osmótica (ejercida en su mayor parte por proteínas de la sangre). En el caso descrito, se produciría un filtrado mayor de lo normal ya que la presión sanguínea estaría opuesta en menor medida a la presión osmótica de la sangre.*

Filtración glomerular Como se acaba de describir, el glomérulo actúa como un filtro. La **filtración glomerular** es un proceso pasivo, no selectivo, por el cual el fluido pasa de la sangre a la cápsula glomerular. Una vez en la cápsula, el fluido se llama filtrado y en esencia está compuesto por plasma sanguíneo sin proteínas. Tanto las proteínas como las células sanguíneas son normalmente demasiado grandes para atravesar la membrana de filtración y cuando alguna de estas aparece en la orina significa que hay muchas posibilidades de que haya algún problema en los filtros glomerulares. Mientras que la presión sanguínea sistemática sea normal, el filtrado se formará sin problemas. Si la presión sanguínea arterial cae a un nivel bajo, la presión glomerular se vuelve insuficiente para obligar a las sustancias de la sangre a que salgan de la sangre a los túbulos, y el filtrado se detiene.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La producción anormalmente baja de orina recibe el nombre de **oliguria** si está entre los 100 y los 400 ml/día, y **anuria** si es menor de los 100 ml/día. Una producción baja de orina a menudo indica que la presión glomerular es demasiado baja para llevar a cabo el filtrado, pero la anuria también puede ser el resultado de una reacción a una trasfusión y una inflamación grave a causa de alguna herida por aplastamiento en los riñones. ▲

Reabsorción tubular Además de los desechos y del exceso de iones que deben eliminarse de la sangre, el filtrado también contiene muchas sustancias que pueden ser útiles (entre ellos el agua, la glucosa, los aminoácidos y los iones), y que deben recogerse del filtrado y devolverse a la sangre. La **reabsorción tubular** comienza al mismo tiempo que el filtrado penetra en el túbulo contorneado proximal (Figura 15.5). Las células tubulares son "transportadores", que toman las sustancias necesarias del filtrado y las pasan al espacio extracelular, de donde son reabsorbidas por la sangre de los capilares peritubulares. Algunos tipos de reabsorción se llevan a cabo de forma pasiva (por ejemplo el agua, por ósmosis), pero la reabsorción de la mayoría de las sustancias depende de los procesos de transporte activo, que utilizan a los transportadores de las membranas y son muy selectivos. Existen numerosos transportadores para las sustancias que se necesitan reabsorber, y muy pocos transportadores para sustancias innecesarias del organismo. Las sustancias que se necesitan (por ejemplo la glucosa y los aminoácidos) se reabsorben completamente del filtrado en condiciones normales. Los **desechos nitrogenados** son raramente reabsorbidos, si se diese el caso. Estos desechos están compuestos por la **urea,** formada en el hígado como producto final de la descomposición de las proteínas cuando los aminoácidos se utilizan para producir energía; el **ácido úrico,** liberado del metabolismo de los ácidos nucleicos; y la **creatinina,** que se asocia con el metabolismo de la creatina en el tejido muscular. Las células tubulares disponen de pocos transportadores para estas sustancias, por lo que tienden a permanecer en el filtrado y se encuentran en altas concentraciones en la orina que secreta el cuerpo. Algunos iones pueden ser reabsorbidos o eliminados en la orina, dependiendo de las necesidades particulares de ese momento para mantener un pH adecuado y la composición de electrolitos en la sangre. La mayor parte de la reabsorción se lleva a cabo en el túbulo contorneado distal donde los conductos recolectores están también activos.

Secreción tubular La **secreción tubular** es esencialmente lo contrario a la reabsorción tubular. Algunas sustancias como los iones de hidrógeno y potasio y la creatinina también pasan desde la sangre de los túbulos peritubulares a través de las células tubulares, o bien desde las propias células tubulares, al filtrado para ser eliminadas en la orina. Este proceso parece ser importante para deshacerse de sustancias que aún no están en el filtrado, como algunos fármacos, el exceso de potasio, o como un medio adicional de controlar el pH se la sangre (véase la Figura 15.5).

Características de la orina

En 24 horas, los maravillosos y complejos riñones filtran entre 150 y 180 litros de plasma a través de los glomérulos a los túbulos, que procesan el filtrado al extraer sustancias (reabsorción) y al añadir otras (secreción). En las mismas 24 horas, sólo se producen entre 1 y 1,8 litros de orina. Obviamente, la orina y el filtrado son muy diferentes. El filtrado contiene lo mismo que el plasma (excepto las proteínas), pero al llegar a los conductos colectores, el filtrado ha perdido la mayor parte del agua, y casi todos sus nutrientes e iones necesarios. Lo que queda, la **orina,** contiene desechos nitrogenados y sustancias innecesarias. Si tenemos en cuenta que no tenemos problemas de salud, nuestros riñones pueden mantener nuestra composición de la sangre bastante constante a pesar de las grandes variaciones en la dieta y la actividad celular.

La orina normal es por lo general clara y amarilla. El color amarillento normal se debe al *ureocromo,* un pigmento que es el resultado de la destrucción de hemoglobina del organismo. Cuantos más solutos haya en la orina, más intenso es el color amarillo; por el contrario, cuánto más disuelta esté la orina más claro será dicho color. Algunas veces, la orina puede presentar otros colores. Esto puede ser el resultado de comer algunos alimentos (la remolacha, por ejemplo) o de la presencia de bilis o sangre en la orina.

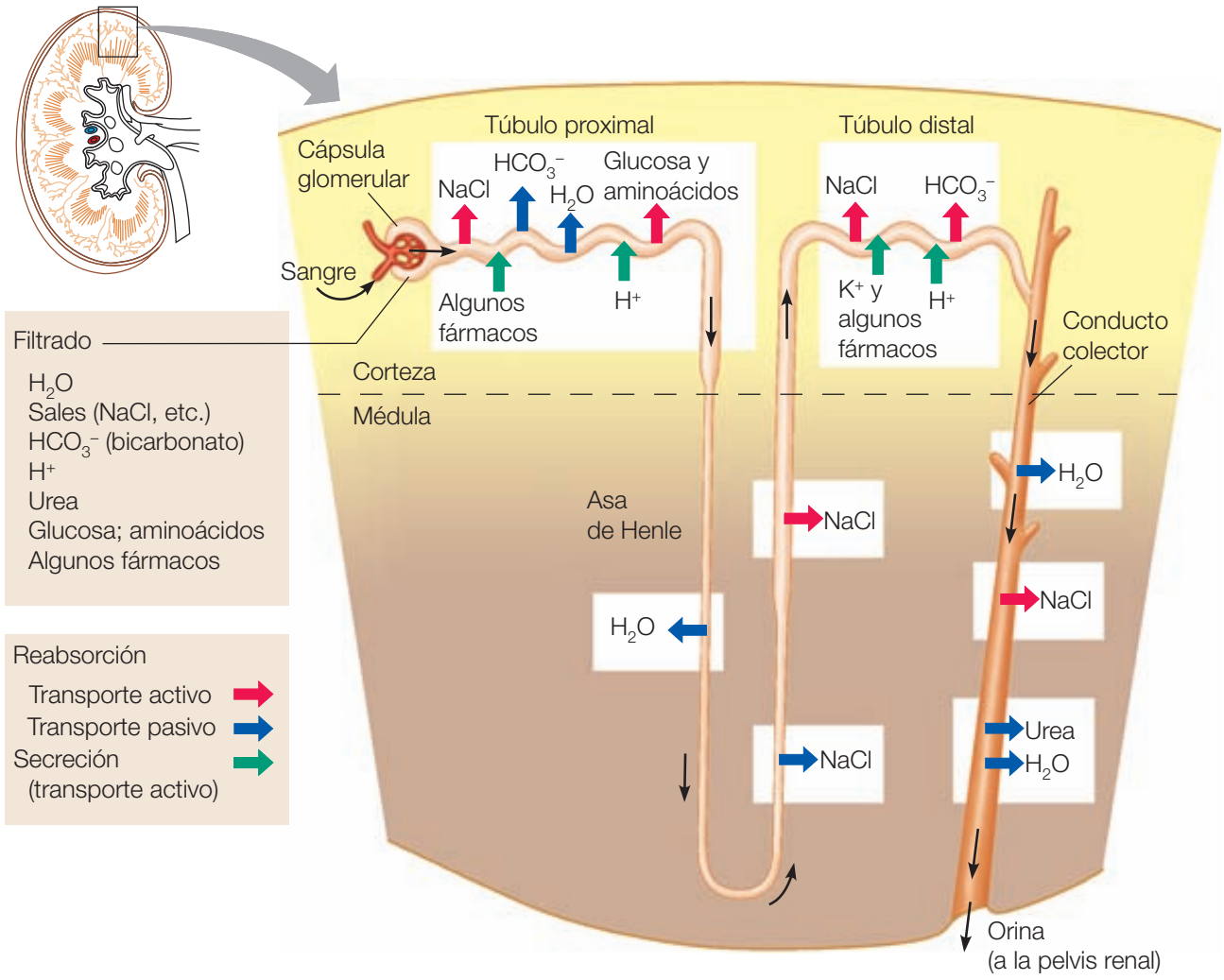


FIGURA 15.5 **Zonas de filtración, reabsorción y secreción de una nefrona.**

Cuando se forma, la orina es estéril, y su olor es ligeramente aromático. Si se retiene en un recipiente, adquirirá un olor a amoniaco causado por la acción de bacterias en los solutos de la orina. Algunos fármacos, vegetales (como los espárragos), y algunas enfermedades (como la diabetes *mellitus)* alteran el olor normal de la orina.

El pH de la orina es ligeramente ácido (alrededor de 6), pero los cambios en el metabolismo del cuerpo y algunos alimentos pueden provocar el aumento de su acidez o de su basicidad. Por ejemplo, una dieta con grandes cantidades de proteínas (huevos y queso) y productos integrales pueden volver la orina bastante ácida. Por el contrario, una dieta vegetariana, provoca que la orina sea alcalina ya que los riñones excretan el exceso de bases. Una infección bacteriana del tracto urinario también puede provocar la basicidad de la orina.

Como consecuencia de que la orina esté compuesta por agua más solutos, ésta es más pesada y más densa que el agua destilada. El término que se usa para comparar el peso de la orina con el del agua destilada es **gravedad específica.**

Mientras que la gravedad específica del agua pura es de 1,0, la gravedad específica de la orina normalmente oscila entre 1,001 y 1,035 (orinas diluidas a concentradas, respectivamente). Normalmente la orina es diluida (es decir, tiene una gravedad específica baja)

MÁS DE CERCA

INSUFICIENCIA RENAL Y RIÑONES ARTIFICIALES

¿Hace cuánto que no te sometes a un análisis de orina? Si eres como la mayoría, la respuesta es: hace demasiado tiempo. Esta prueba indolora, asequible y simple puede detectar una enfermedad renal años antes de que los síntomas aparezcan, lo cual proporciona tiempo para un tratamiento precoz y para prevenir complicaciones que pueden atentar contra nuestra salud.

Desafortunadamente, los análisis de orina se omiten en las revisiones médicas normales. Desafortunadamente porque la enfermedad renal crónica es uno de los mayores problemas del sistema sanitario estadounidense. La cantidad de 10 a 20 millones de estadounidenses, una de cada quince personas, tienen algún tipo de disfunción de los riñones, y casi 350.000 personas requieren diálisis o trasplante de riñón para seguir vivos.

Los síntomas de problemas en los riñones son una presión arterial alta, orinar frecuentemente, orinar con dificultad o dolor, ojos hinchados, y sudor en las manos o los pies. Pero muy a menudo, pocos síntomas se presentan hasta que se llega a etapas avanzadas de la enfermedad, cuando una parte importante de la función del riñón ya se ha perdido. Los análisis de orina son muy valiosos porque pueden detectar proteinuria, un síntoma temprano de daño renal.

¿A qué se debe esta enfermedad renal? En adultos, la enfermedad renal crónica a menudo se desarrolla junto con otras enfermedades crónicas. La causa subyacente es la diabetes *mellitus*, que presenta aproximadamente un 44% de nuevos casos cada año. La hipertensión le sigue de cerca, con un 28% de casos. Ten en cuenta que la hipertensión es tanto una causa como un síntoma: la presión sanguínea alta provoca una disfunción renal al dañar los vasos sanguíneos renales, reduciendo la circulación a los órganos. La arterioesclerosis es el problema de una mayor disfunción de la circulación.

Un paciente renal recibiendo hemodiálisis.

"En la insuficiencia renal, la formación de filtrado disminuye o cesa."

Otras posibles causas de la insuficiencia renal son las siguientes:

- Repetidas infecciones en los riñones.
- Traumas físicos en los riñones (accidentes y otros).
- Envenenamiento químico de las células tubulares por metales pesados (mercurio o plomo) o solventes orgánicos (líquidos de limpieza en seco, disolvente de pinturas).
- Una presión prolongada en los músculos esqueléticos (pues libera hemoglobina, un pigmento muscular que se colapsa en los túbulos renales).

En la insuficiencia renal, la formación de filtrado disminuye o se detiene por completo. Los desechos tóxicos se acumulan rápido en la sangre cuando las células tubulares del riñón no funcionan, por lo que la diálisis es necesaria para purificar la sangre mientras los riñones no funcionen. En la *hemodiálisis,* que utiliza

un aparato a modo de "riñón artificial" (véase la fotografía) donde la sangre del paciente atraviesa un tubo que funciona de membrana permeable sólo a determinadas sustancias, y un tubo sumerge la sangre en una solución que difiere ligeramente del plasma normal. A medida que la sangre circula por el tubo, las sustancias como los desechos nitrogenados y los iones de potasio presentes en la sangre (pero no en la solución) salen de la sangre a través del tubo hacia la solución externa, y entran las sustancias que deben añadirse a la sangre (sobre todo amortiguadores para los iones de hidrógeno y glucosa para los pacientes malnutridos). En este sentido, las sustancias que se necesitan se retienen en la sangre o se añaden, mientras que los desechos y los iones excesivos se eliminan. La hemodiálisis se realiza tres veces a la semana, y cada sesión dura de cuatro a ocho horas. Trombosis, infecciones, e isquemia son algunos de los serios problemas que pueden derivar de la hemodiálisis. Las hemorragias son un riesgo añadido, ya que la sangre debe ser heparinizada para evitar su coagulación durante la hemodiálisis (la *heparina* es un anticoagulante).

Cuando el daño renal es irreversible, como en la insuficiencia renal progresiva, lento y crónico, los riñones se vuelven totalmente incapaces de procesar el plasma o concentrar la orina, y un trasplante de riñón es la única solución. A menos que el nuevo riñón proceda de un gemelo idéntico, los receptores deben tratarse con inmunodepresores el resto de su vida para evitar el rechazo. Los trasplantes de riñón en EE.UU. en el año 2001 alcanzaron la cifra de 15.332, y casi 5.000 de ellos fueron de donantes vivos. Pero aún hay 57.000 estadounidenses que todavía están esperando un riñón, más personas que para ningún otro órgano.

Y si esto fuera poco, hay que tener en cuenta que, hace 40 años, las personas que llegaban a la fase final de la insuficiencia renal morían a los pocos días. Hoy en día, pueden vivir durante años o incluso décadas, y muchos investigadores están trabajando para mejorar tanto la esperanza de vida como la calidad de la misma.

cuando una persona bebe en exceso, consume diuréticos (fármacos que aumentan la producción de orina) o presenta insuficiencia renal crónica, una enfermedad en la que el riñón pierde su capacidad de concentrar orina (véase el cuadro anterior de "Más de cerca"). Las enfermedades que producen orina con una gravedad específica alta son un consumo inadecuado de líquidos, fiebre y una inflamación del riñón que se llama *pielonefritis*.

Los solutos que se encuentran normalmente en la orina son iones de sodio y potasio, urea, ácido úrico, creatinina, amoniaco, iones de bicarbonato y otros iones diferentes, dependiendo de la composición de la sangre. En algunas enfermedades concretas, la composición de la orina puede cambiar de forma dramática, y la presencia de sustancias anormales es a menudo de gran ayuda a la hora de diagnosticar el problema. Estas son las razones por las que los exámenes físicos deberían incluir un análisis de orina.

Las sustancias que no se encuentran normalmente en la orina son glucosa, proteínas de la sangre, glóbulos rojos, hemoglobina, glóbulos blancos y bilis. Los nombre y posibles causas de las enfermedades en las que los componentes y volúmenes anormales de la orina están presentes están descritos en la Tabla 15.1.

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. ¿Cuál es la unidad funcional y estructural de los riñones?
5. ¿Cuáles son las dos funciones de los túbulos renales y la función de los capilares peritubulares?
6. ¿Cómo afecta a la presión glomerular el aumento de la presión sanguínea?
7. ¿La gravedad específica de la orina es más alta o más baja que la del agua? ¿Por qué?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

TABLA 15.1 Componentes anormales de la orina

Sustancia	Nombre de la enfermedad	Posibles causas
Glucosa	Glucosuria	No patológica: consumo excesivo de alimentos azucarados Patológica: diabetes *mellitus*
Proteínas	Proteinuria (también albuminuria)	No patológica: esfuerzo físico excesivo, embarazo. Patológica: glomerulonefritis, hipertensión
Pus (glóbulos blancos y bacterias)	Piuria	Infección del tracto urinario
Glóbulos rojos	Hematuria	Hemorragia del tracto urinario (debido a trauma, piedras en el riñón, infección)
Hemoglobina	Hemoglobinuria	Varios: reacción a una transfusión, anemia hemolítica
Pigmento biliar	Bilirrubinuria	Enfermedad hepática (hepatitis)

Uréteres, vejiga urinaria y uretra

Uréteres

Los **uréteres** son dos tubos alargados que miden entre 25 y 30 cm de largo y 6 mm de diámetro. Cada uréter se sitúa a lo largo del peritoneo desde el hilio renal hasta la parte posterior de la vejiga, en la que entra ligeramente en ángulo (véanse las figuras 15.1 y 15.6). La parte superior del uréter es una continuación de la pelvis renal, y su recubrimiento mucoso continúa con el de la pelvis renal y la vejiga.

En esencia, los uréteres son conductos que transportan la orina desde los riñones hasta la vejiga. Aunque pueda parecer que la orina simplemente desciende a la vejiga por gravedad, los uréteres *desempeñan* un papel muy importante en el transporte de la orina. Las capas de músculo liso de sus paredes se contraen para empujar la orina hasta la vejiga mediante la peristalsis. Una vez que la orina se encuentra en la vejiga, los uréteres impiden que ésta retroceda mediante unos pliegues pequeños situados en la mucosa de la vejiga que llegan hasta los uréteres.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando la orina se vuelve extremamente concentrada, los solutos como las sales del ácido úrico forman cristales que se precipitan en la pelvis renal. Estos cristales se llaman **cálculos renales** o piedras en el riñón. Un dolor intenso se difunde por el costado cuando las paredes del uréter entran en contacto con los afilados cálculos cuando han sido lanzados por la peristalsis o cuando el cálculo se estanca en un uréter. Las infecciones bacterianas frecuentes del tracto urinario, la retención de orina, y la orina alcalina favorecen la formación de cálculos en el riñón. La cirugía ha sido el tratamiento más normal, pero cada vez resulta más popular un procedimiento nuevo menos invasivo *(litotricia)* que utiliza ondas de ultrasonido para romper los cálculos. Los restos pulverizados de los cálculos se eliminan sin dolor a través de la orina. ▲

Vejiga urinaria

La **vejiga urinaria** es un saco muscular liso y plegable que almacena la orina de forma temporal. Se sitúa en la zona retroperitoneal, en la parte posterior de la sínfisis púbica. Si se escanea el interior de la vejiga, se pueden diferenciar tres aperturas: las dos de los uréteres *(orificios ureterales)* y la única apertura de la uretra *(orificio interno uretral)*, que llega hasta la vejiga (Figura 15.6). La lisa región triangular de la base de la vejiga delimitada por estas tres aperturas recibe el nombre de **trígono.** Este trígono es importante clínicamente ya que las infecciones tienden a persistir en esta región. En los hombres, la *próstata* (parte del aparato reproductor masculino) envuelve el cuello de la vejiga en el lugar donde se vacía en el interior de la uretra.

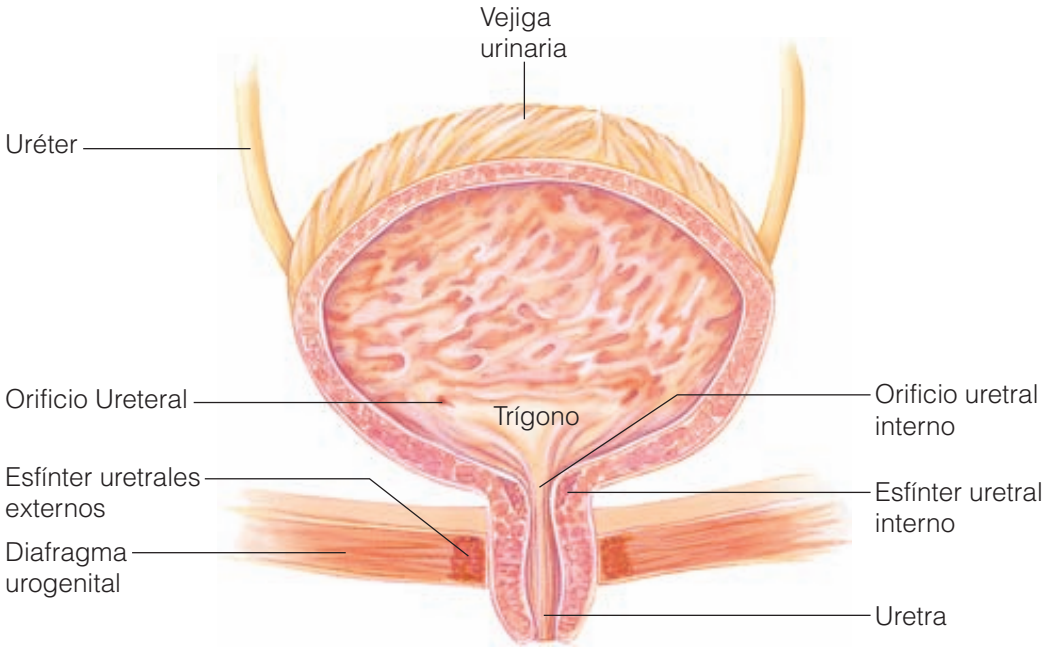


FIGURA 15.6 Estructura básica de la vejiga urinaria y uretra femeninas.

La pared de la vejiga tiene tres capas de músculo liso, conocidas en conjunto como *músculo detrusor,* y su mucosa es un tipo especial de epitelio, el *epitelio transicional* (véase la página 90). Estas dos características estructurales hacen que la vejiga sea única para su función de almacenamiento de la orina. Cuando la vejiga se encuentra vacía, ésta se pliega y mide entre 5 y 7,5 cm de largo como mucho, y sus paredes son gruesas y se encuentran formando pliegues. A medida que se va acumulando la orina, la vejiga se expande y crece hacia arriba en la cavidad abdominal (Figura 15.7). Sus paredes musculares se estiran y las capas epiteliales transicionales se vuelven más delgadas, aumentando su volumen y permitiendo que la vejiga almacene más orina sin aumentar de forma sustancial su presión interna. Una vejiga moderadamente llena mide alrededor de 12,5 cm de largo y aguanta en torno a 500 ml de orina, pero es capaz de soportar más del doble de esta cantidad. Cuando la vejiga está realmente desplegada, o estirada por la orina, se vuelve firme y adquiere forma de pera. La orina se forma continuamente en los riñones, pero se almacena en la vejiga hasta que su liberación sea conveniente.

Uretra

La **uretra** es un tubo de pared delgada que transporta la orina mediante la peristalsis desde la vejiga hasta el exterior del cuerpo. En la unión vejiga-uretra, un engrosamiento del músculo liso forma el **esfínter uretral interno** (véase la Figura 15.6), un esfínter involuntario que mantiene la uretra cerrada cuando la orina no está pasando. Un segundo esfínter, el **esfínter uretral externo,** está modelado por un músculo esquelético donde la uretra pasa por el perineo. Este esfínter se puede controlar.

La longitud y la función relativa de la uretra se diferencian en los dos sexos. En las mujeres, la uretra mide entre 3 y 4 cm de largo, y su orificio externo se sitúa de forma anterior a la vagina (véase también la Figura 16.8a, en la pág. 554). Su función es conducir la orina al exterior.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El orificio urinario femenino está cerca de la apertura anal, y las heces contienen numerosas bacterias, por lo que unos hábitos de higiene inadecuados (limpiarse de atrás hacia delante en vez de al revés) pueden conllevar infecciones en la uretra. Además, la mucosa de la uretra está en continuo contacto con el resto de los órganos del *tracto* urinario, y una inflamación de la uretra, o **uretritis,** puede ascender fácilmente al tracto y provocar una inflamación de la vejiga *(cistitis)* o incluso inflamación del riñón **(pielitis).** Los síntomas de la infección del tracto urinario incluyen *disuria*

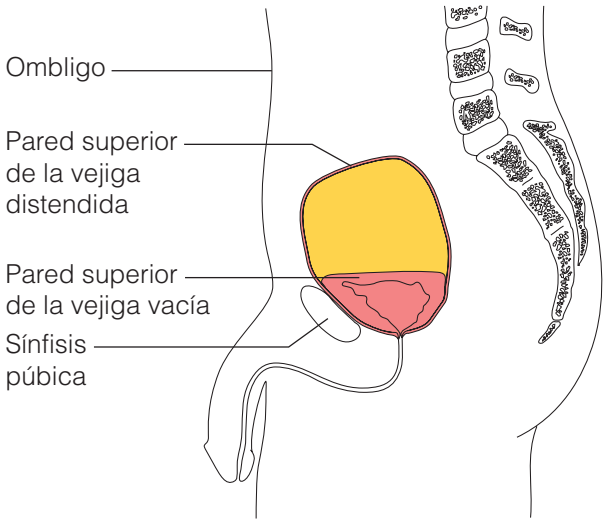


FIGURA 15.7 Posición y forma de una vejiga urinaria vacía y distendida en un hombre adulto.

(orinar con dolor), polaquiuria y necesidad imperiosa de orinar, fiebre, y a veces orina turbia o tintada de rojo. Cuando los riñones están afectados, los dolores en la espalda y en la cabeza son muy comunes. ▲

En los hombres, la uretra mide aproximadamente 20 cm de largo y tiene tres regiones (véase la Figura 16.2, en la pág. 547): la *uretra prostática,* la *membranosa* y la *esponjosa.* La uretra se abre en el extremo del pene, donde termina su largo recorrido. La uretra del hombre tiene una función doble: transporta la orina al exterior del cuerpo, y también constituye el conducto por el que se eyecta el esperma del cuerpo. Por lo tanto, en el hombre, la uretra forma parte tanto del aparato urinario como del reproductor.

Micción

La **micción,** o **diuresis,** es el acto de vaciado de la vejiga. Dos esfínteres o válvulas, el esfínter uretral interno (situado más arriba) y el esfínter uretral externo (situado más abajo, controlan el flujo de orina desde la vejiga (véase la Figura 15.6). Normalmente, la vejiga continúa colectado orina hasta que se han acumulado aproximadamente 200 ml. En este punto, el estiramiento de las paredes de la vejiga activa a los receptores de estiramiento. Los impulsos trasmitidos a la región sacra de la médula espinal y la vuelta a la vejiga mediante los *nervios esplácnicos pélvicos* provocan contracciones reflejas en la vejiga. A medida que las contracciones aumentan, la orina almacenada está forzada a atravesar el esfínter uretral interno (el músculo liso, esfínter involuntario) y pasar a la parte superior de la uretra. Es en este momento cuando una persona siente la urgencia de vaciar la vejiga. El esfínter externo inferior es un músculo esquelético y se puede controlar, por lo que podemos controlar el vaciado final de la vejiga. Sin embargo, si es necesario, el esfínter externo puede relajarse, de manera que la orina se escape del cuerpo. Cuando se decide posponer el vaciado, las contracciones reflejas de la vejiga pararán en unos minutos, y la orina continuará almacenándose en la vejiga. Después de haber almacenado 200 ó 300 ml más, el reflejo de micción se producirá de nuevo. En cualquier caso, la micción se produce se quiera o no.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La **incontinencia** se produce cuando se es incapaz de controlar el esfínter externo. La incontinencia es normal en niños de dos años o mayores, ya que aún no controlan su esfínter externo. También puede ocurrir en niños mayores mientras sueñen tan profundamente que no se despierten por los estímulos. Sin embargo, después de los primeros años, la incontinencia se convierte en un problema emocional, de presión (por ejemplo durante el embarazo), o causado por problemas en el sistema nervioso (infarto cerebral o lesión de la médula espinal).

La **retención urinaria** es esencialmente lo contrario de la incontinencia. Es una enfermedad en la que la vejiga es incapaz de expulsar su propia orina. Hay varios tipos de retención urinaria. A menudo, la retención se produce tras operaciones en las que se ha utilizado la anestesia general, ya que los músculos lisos necesitan un poco de tiempo antes de recuperar su movilidad. Otra causa de la retención urinaria, que ocurre principalmente en los ancianos, es el aumento de tamaño, o **hiperplasia,** de la próstata, que recubre el cuello de la vejiga. A medida que se agranda la próstata, la uretra se angosta, provocando que sea muy difícil orinar. Cuando la retención urinaria se prolonga durante demasiado tiempo, un tubo de drenaje flexible llamado *catéter* se debe insertar a través de la uretra para drenar la orina y evitar que se produzca un trauma de la vejiga a causa de un estiramiento excesivo. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

8. ¿A qué órgano impediría el paso del flujo de orina una piedra del riñón que está bloqueando un uréter?
9. ¿Por qué es tan importante la presencia de epitelio transicional en la vejiga urinaria?
10. Estructural y funcionalmente, ¿en qué se diferencia la uretra masculina de la femenina?
11. ¿Cuál es el sinónimo de micción?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Equilibrio de fluidos, electrolítico y ácido-base

La composición de la sangre depende de tres factores principales: la dieta, el metabolismo celular y la producción de orina. Por lo general, los riñones tienen cuatro funciones importantes que ayudan a que la composición de la sangre sea más o menos constante. Éstas son (1) excreción de desechos nitrogenados, (2) mantenimiento del equilibrio de electrolitos y (3) del balance hídrico, y (4) garantizar un pH adecuado. La excreción de desechos nitrogenados ya ha sido estudiada, por lo que a continuación se tratarán brevemente las últimas tres funciones.

Mantenimiento del equilibrio electrolítico y del balance hídrico

Fluidos corporales y compartimentos de los fluidos

Si eres un adulto sano y joven, el agua supondrá más de la mitad de tu cuerpo (el 50% en las mujeres y el 60% en los hombres). Estas diferencias reflejan el hecho de que las mujeres tienen relativamente menos masa muscular y más cantidad de grasa en el cuerpo (y, de todos los tejidos corporales, la grasa es la que menos agua contiene). Los bebés, con poca grasa y masa ósea, tienen un 75% de agua, pero el agua total del cuerpo desciende con el crecimiento y llega a sólo un 45% en personas ancianas. La importancia del agua en el funcionamiento del organismo se describe en el Capítulo 2. La información no se va a repetir en este capítulo excepto para comentar que el agua es el solvente universal del cuerpo en la que todos los solutos del organismo se disuelven (incluyendo los importantísimos electrolitos).

El agua ocupa tres partes principales del cuerpo, conocidas como *compartimentos de fluidos* (Figura 15.8). Alrededor de dos tercios de los fluidos corporales, los llamados **fluidos intracelulares,** están contenidos en las células vivas. El resto, el **fluido extracelular,** incluye todos los fluidos que se encuentran fuera de las células. Aunque el fluido extracelular incluye principalmente plasma sanguíneo y fluido intersticial, también cuenta con líquido cefalorraquídeo y fluido seroso, la linfa y otros.

El plasma circula a través del cuerpo y une los entornos externo e interno (Figura 15.9). En los pulmones, el tracto gastrointestinal y los riñones tienen lugar intercambios continuamente. A pesar de que estos intercambios alteran la composición y el volumen del plasma, el equilibrio se mantiene al realizarse una serie de ajustes en los otros dos compartimentos de fluidos tal y como se describe a continuación.

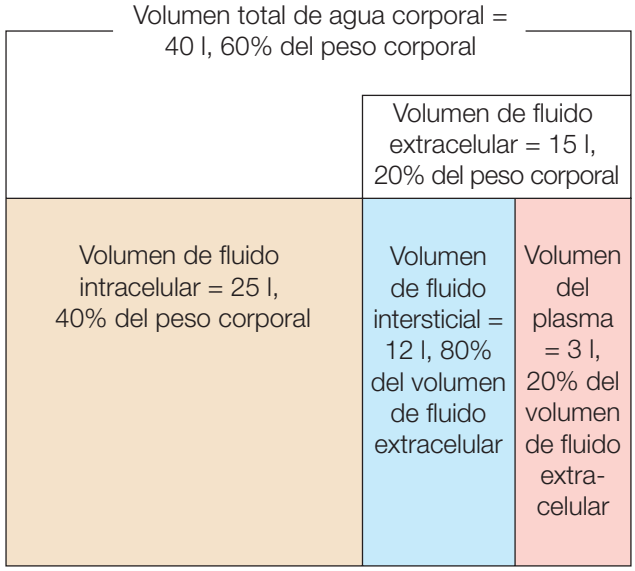


FIGURA 15.8 Principales compartimentos de fluidos corporales. Se han descrito los valores aproximados para un hombre de 70 kg.

Relación entre el agua y la sal

En realidad, el agua representa casi el volumen total de todos los fluidos del cuerpo, pero hay más sustancias involucradas en el *balance hídrico,* además del agua. Los tipos y las cantidades de solutos en los fluidos corporales, especialmente los electrolitos como el sodio, el potasio y los iones de calcio, también son de vital importancia para la homeostasis total del cuerpo, y el equilibrio de electrolitos y el balance hídrico están muy relacionados, ya que los riñones procesan la sangre continuamente. (Como se describió en el Capítulo 2, los electrolitos están cargados de partículas [iones] que conducen la corriente eléctrica en la solución acuosa). Cambios muy pequeños en las concentraciones de soluto **(electrolito)** de los diferentes compartimentos, provocan que el agua se mueva de un compartimento a otro. Este movimiento no sólo alteral el volumen y la presión sanguíneos, sino que también puede anular gravemente la actividad de células irritables como los nervios y las células musculares. Por ejemplo, un déficit de iones de sodio (Na^+) en el fluido extracelular tiene como resultado una pérdida de agua del torrente

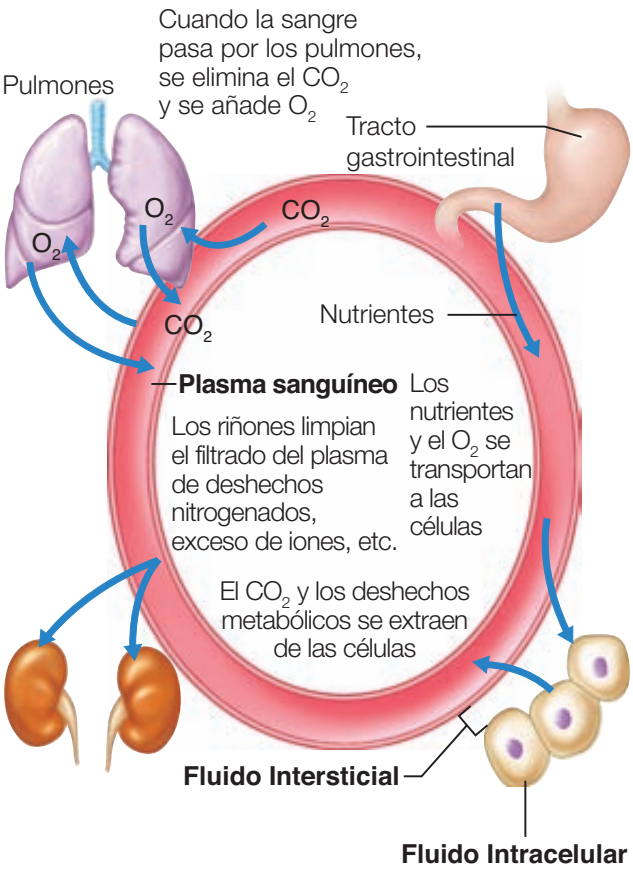


FIGURA 15.9 La mezcla continua de los fluidos corporales. Los nutrientes y desechos se intercambian en el fluido intracelular y el plasma a través del fluido intersticial. El plasma sanguíneo transporta los nutrientes y los desechos entre las células y el entorno externo del organismo.

sanguíneo, que sale a los espacios de los tejidos (edema) y debilidad muscular.

Regulación del consumo y la pérdida de agua

Si el cuerpo está adecuadamente hidratado, no podemos perder más agua de la que tomamos. La mayor parte del agua de que disponemos es el resultado de los alimentos y los líquidos que tomamos en nuestra dieta. Sin embargo una pequeña cantidad (alrededor del 10%) se produce a través del metabolismo celular, como se explica en el Capítulo 14 e indica la Figura 15.10. El **mecanismo de la sed** es la fuerza motriz para la obtención de agua. Un aumento del contenido de solutos en el plasma de sólo un 2% o un 3 % excita el *centro de la sed* del hipotálamo. También se produce la sensación de boca seca, ya que las glándulas salivares obtienen el agua necesaria de la sangre. Cuando la presencia de fluidos en el torrente sanguíneo es menor, se produce menos saliva y se activa la sed. La misma respuesta se produce cuando disminuye el volumen de sangre (o la presión); sin embargo, este es el estímulo menos potente.

Hay varias rutas para que el agua abandone el organismo. Una parte se escapa por los pulmones en forma de vapor, y otra parte lo hace en las deposiciones. El trabajo de los riñones es el mismo que el de un malabarista. Por un lado, si se pierden grandes cantidades de agua, se fabrica menos orina para conservar el agua del organismo. Por el otro lado, cuando el consumo de agua es excesivo, los riñones excretan grandes cantidades de orina, y la sensación de tener la vejiga demasiado llena se agudiza.

Asimismo, las concentraciones apropiadas de electrolitos siempre deben estar presentes tanto en el fluido intracelular como en el extracelular. La mayoría de los electrolios penetran en el organismo a través de los alimentos y las aguas pesadas (ricas en minerales). A pesar de que cantidades muy pequeñas se pierdan en las deposiciones, el principal factor para la regulación de la composición de electrolitos de los fluidos corporales es el riñón. A continuación, se explica más detalladamente cómo los riñones llevan a cabo este equilibrio.

La reabsorción de agua y electrolitos por los riñones está regulada principalmente por hormonas. Cuando el volumen de la sangre desciende por cualquier razón (por ejemplo, como resultado de una hemorragia o una pérdida excesiva de agua por el sudor o la diarrea) la presión arterial desciende, lo que a su vez disminuye la cantidad de filtrado de los riñones. Además, las células altamente sensibles del hipotálamo llamadas **osmorreceptores** reaccionan para modificar la composición sanguínea (es decir, menos agua y más solutos) volviéndose más activas. El resultado es que los impulsos nerviosos se envian a la pituitaria posterior (Figura 15.11), la cual libera entonces la **hormona antidiurética (ADH).** (El término *antidiurético* proviene de *diuresis,* que significa "flujo de la orina desde el riñón", y *anti* que significa "lo contrario"). Como uno puede suponer, esta hormona evita la pérdida excesiva de agua en la orina. La ADH viaja en la sangre hasta su destino principal, los conductos colectores de los riñones, donde provoca que las células reabsorban más agua. Cuánta más agua se devuelva al torrente sanguíneo, el volumen de sangre y la presión sanguínea aumentará a los niveles normales, y sólo una pequeña cantidad de orina muy concentrada se formará. La ADH se libera de forma más o menos continua a menos que la concentración de soluto de la sangre dis-

P *¿Cómo se verían afectados los valores mostrados si se bebieran seis cervezas? ¿Y si se ayuna (sólo se toma agua)?*

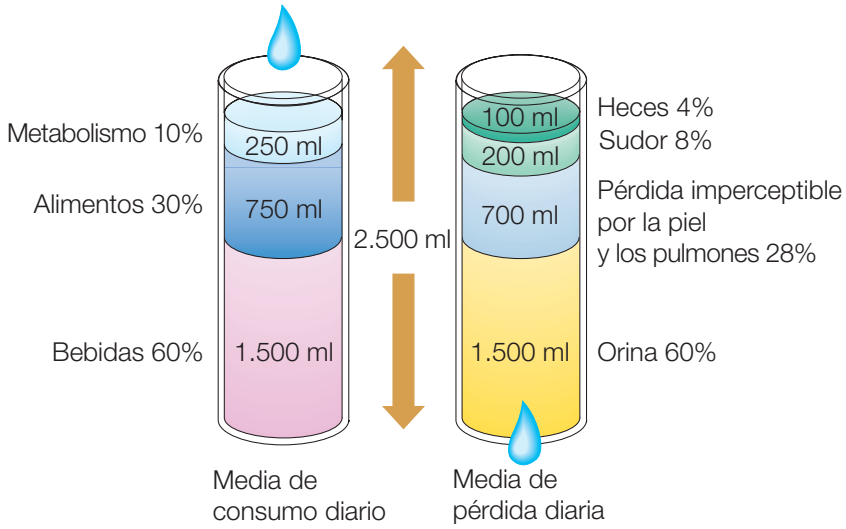


FIGURA 15.10 Consumo y pérdida de agua. Las principales fuentes de agua del cuerpo y las rutas de pérdida del agua se describen en esta figura. Cuando el consumo y la pérdida están en equilibrio, el cuerpo está hidratado adecuadamente.

minuya repentinamente. Cuando esto sucede, los osmorreceptores se detienen, y el agua en exceso se elimina en la orina.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cuando la ADH *no* se libera (quizás como motivo de la lesión o la destrucción del hipotálamo), cantidades enormes de orina muy diluida (más de 25 litros al día) se forman en nuestro cuerpo día tras día. Esta enfermedad, la **diabetes insípida,** puede derivar en una deshidratación grave y desequilibrio de electrolitos. Los individuos que presentan esta enfermedad siempre tienen sed y deben beber líquido casi continuamente para mantener el equilibrio de líquidos adecuado. ▲

R *En el primer caso, la cantidad de fluidos aumenta significativamente, y por lo tanto, también aumenta la producción de orina.*
En el segundo caso, no se consumen líquidos a través de los alimentos, por lo que se producen menos fluidos en el metabolismo. La producción de fluidos se vería seriamente afectada, y no se añadiría en las heces u orina para conservar agua en el cuerpo. Las pérdidas de agua imperceptibles del cuerpo no cambian. La pérdida de agua en forma de sudor dependerá de la temperatura del cuerpo y el entorno.

Una segunda hormona que ayuda a regular la composición y el volumen de la sangre actuando en el riñón es la **aldosterona.** La aldosterona es un factor principal para la regulación del contenido de iones de sodio en el fluido extracelular y este proceso también ayuda a mantener la concentración de otros iones (Cl^-, K^+ y Mg^{2+} [magnesio]. El ión de sodio es el principal responsable del flujo osmótico del agua. Cuando muy poca cantidad de sodio aparece en la sangre, ésta se vuelve demasiado diluida. Por lo tanto, el agua abandona el torrente sanguíneo hacia los espacios extracelulares, cuyo resultado es la formación de edemas y la posibilidad de colapso del aparato circulatorio. Sin tener en cuenta si la aldosterona está presente o no, alrededor del 80% del sodio del filtrado se reabsorbe en los túbulos contorneados proximales de los riñones. Cuando las concentraciones de aldosterona son altas, la mayor parte del sodio restante es absorbido activamente en los túbulos contorneados distales y en los conductos colectores. Hablando de forma general, por cada ión de sodio reabsorbido, un ión de cloruro le sigue y un ión de potasio se elimina en el filtrado. Por lo tanto, cuánto más alto sea el contenido de sodio, más baja será la concentración de potasio, volviendo el equilibrio a la sangre. Un efecto más de la aldosterona es el aumento de la reabsorción de agua por las células tubulares, como respuesta a la necesidad de sodio, el agua pasa de forma pasiva de nuevo a la sangre. Una pequeña regla que hay que recordar es que *el agua sigue a la sal.*

P *¿Cuáles son las formas de estimular la sed?*

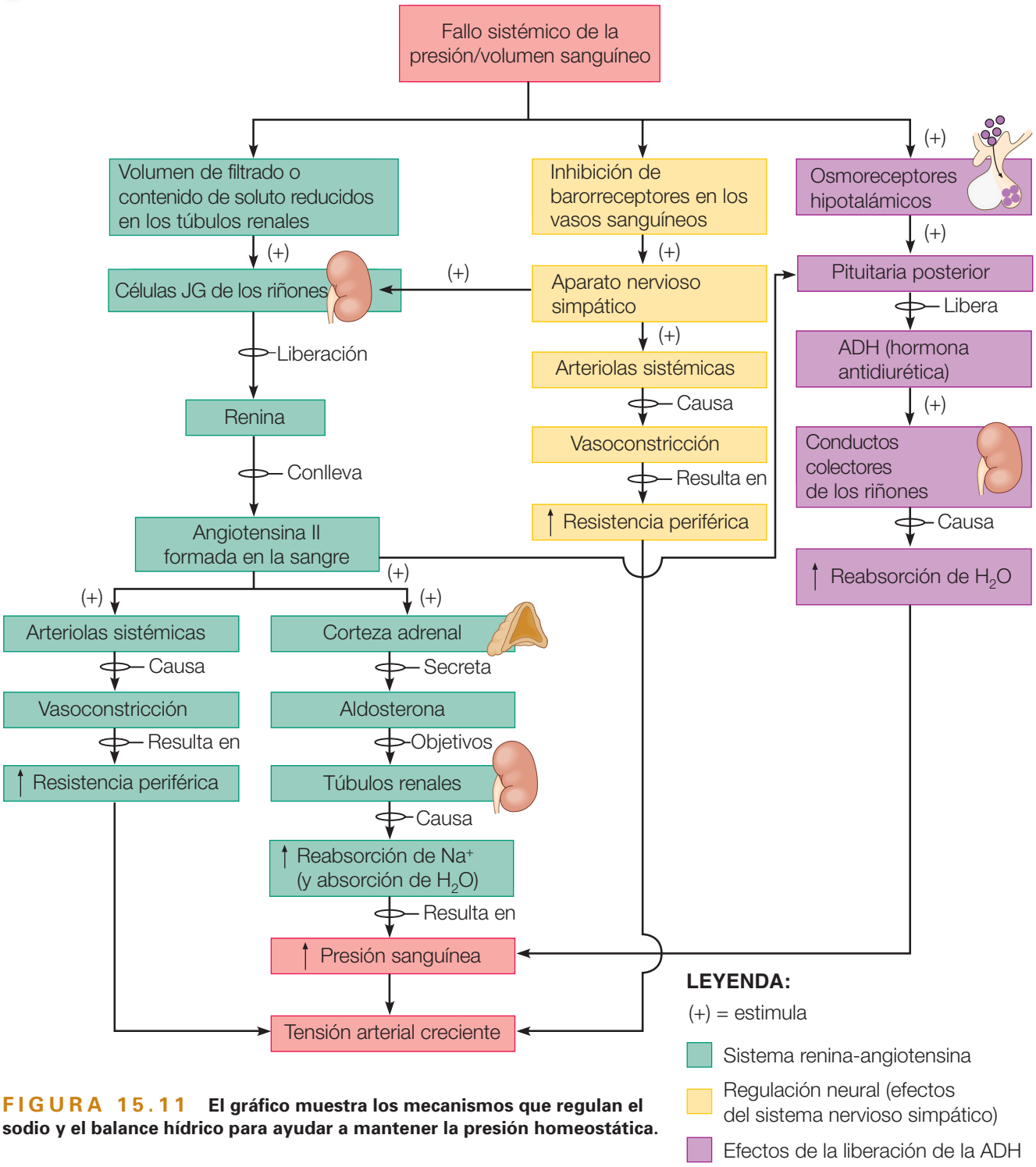


FIGURA 15.11 **El gráfico muestra los mecanismos que regulan el sodio y el balance hídrico para ayudar a mantener la presión homeostática.**

R *Las vías a través del hipotálamo, que no sólo provocan la retención del agua gracias al efecto de la ADH de los riñones, sino que también estimulan la sed para aumentar el consumo de agua.*

Recuerda que la aldosterona se produce en la corteza suprarrenal. Aunque niveles altos de potasio o niveles bajos de sodio en el fluido extracelular estimulan de forma directa las células suprarrenales para liberar aldosterona, el desencadenante más importante para la liberación de la aldosterona es el **mecanismo renina-angiotensina** (véase la Figura 15.11) mediado por el *aparato yuxtaglomerular* de los túbulos renales. Este aparato yuxtaglomerular (JG) (véase la figura 15.3b) está formado por un complejo de células de músculo liso modificadas (células JG) en la arteriola aferente más algunas células epiteliales que forman parte del túbulo contorneado distal. El nombre de esta agrupación de células refleja su situación cerca del (*yuxta*) glomérulo. Cuando se estimulan las células del aparato yuxtaglomerular por la baja presión sanguínea en la arteriola aferente, éstas responden liberando la enzima **renina** a la sangre (recuerda la diferencia con la enzima secretada por las glándulas estomacales llamada *reninna*). La renina cataliza una serie de reacciones que producen la angiotensina II, que a su vez actúa directamente en los vasos sanguíneos para provocar la vasoconstricción (y un aumento de la resistencia periférica) y en las células corticales suprarrenales para permitir la liberación de aldosterona. Como resultado, el volumen y la presión sanguínea aumentan (véase la Figura 15.11).

El mecanismo renina-angiotensina es extremadamente importante para la regulación de la presión sanguínea.

La bajada de tensión también estimula los barorreceptores en los grandes vasos sanguíneos. Estos barorreceptores alertan al sistema nervioso simpático del cerebro para provocar una vasoconstricción (a través de la liberación de epinefrina y norepinefrina), que aumenta la resistencia periférica (véaso la Figura 15.11). Sin embargo, este mecanismo neural se centra principalmente en la regulación de la tensión sanguínea, y no en el equilibrio de electrolitos o el balance hídrico.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las personas con la **enfermedad de Addison** (hipoaldosteronismo) presentan **poliuria** (excretan grandes volúmenes de orina) y pierden cantidades enormes de sal y agua en la orina. Mientras consuman cantidades adecuadas de sales y fluidos, las personas con esta enfermedad pueden evitar problemas, pero están continuamente en riesgo de deshidratación. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

12. ¿Cuáles son las cuatro funciones principales de los riñones?
13. ¿Cuál es el principal mecanismo para inducir el consumo de agua?
14. ¿Cuál es la función de la aldosterona en el balance hídrico?
15. ¿Dónde están localizados los osmorreceptores, y a qué estímulos responden?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Mantenimiento del equilibrio ácido-base de la sangre

Para que las células del cuerpo funcionen adecuadamente, el pH de la sangre debe mantenerse entre 7.35 y 7.45, un intervalo muy pequeño. Cuando el pH de la sangre arterial aumenta de 7.45, se dice que una persona tiene **alcalosis.** Una bajada del pH por debajo de 7.35, produce **acidosis.** El hecho de que un pH de 7.0 sea neutral, no quiere decir que el pH 7.35 sea ácido; sin embargo, este nivel representa una concentración de iones de hidrógeno más alta de lo adecuado para el funcionamiento de la mayor parte de las células del cuerpo. Sin embargo, cualquier pH entre 7.35 y 7.0 se conoce como **acidosis fisiológica.**

Aunque pequeñas cantidades de sustancias ácidas acceden a nuestro organismo mediante los alimentos ingeridos, la mayor parte de los iones de hidrógeno se originan como subproductos del metabolismo celular, que añaden de forma continua a la sangre sustancias que tienden a desnivelar el **equilibrio ácido-base.** Se producen muchos ácidos diferentes (por ejemplo, el ácido fosfórico, el ácido láctico y muchos tipos de ácidos grasos). Además, el dióxido de carbono, que se libera en la producción de energía forma ácido carbónico. También se liberan amoniaco y otras sustancias básicas a la sangre como resultado de la actividad normal de las células. Aunque los amortiguadores químicos de la sangre pueden inmovilizar el exceso de ácidos y bases de forma temporal, y los pulmones tienen la responsabilidad principal para eliminar el dióxido de carbono del cuerpo, los riñones asumen la mayor parte de la carga del equilibrio ácido-base de la sangre. Antes de describir el funcionamiento de los riñones en el equilibrio ácido-base, echemos un vistazo a cómo trabajan los otros dos controladores del pH: los amortiguadores de la sangre y el sistema respiratorio.

Amortiguadores de la sangre

Los amortiguadores químicos son sistemas de una o dos moléculas que trabajan para evitar los cambios drásticos en la concentración de iones de hidrógeno (H^+) cuando se añaden ácidos o bases. Esto se realiza mediante la unión a iones de hidrógeno cuando el pH desciende, y liberando hidrógeno cuando el pH aumenta. Los amortiguadores químicos actúan en una fracción de segundo, por lo que constituyen la pri-

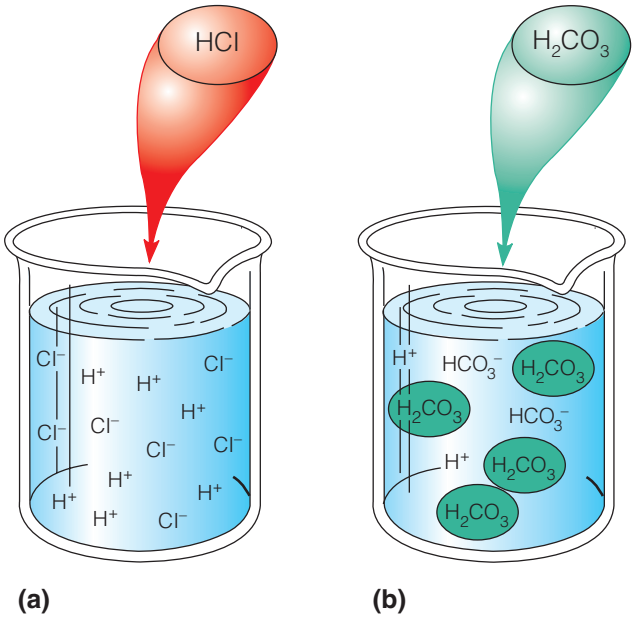


FIGURA 15.12 Disociación de los ácidos fuertes y débiles. (a) Cuando un HCl, un ácido fuerte, se añade al agua, se disocia completamente en sus iones (H^+ y Cl^-). **(b)** Por el contrario, la disociación de H_2CO_3, un ácido débil, es muy incompleta y algunas moléculas de H_2CO_3 no se disocian (símbolos de los círculos verdes) en la solución.

mera línea de defensa que la resistencia a los cambios de pH.

Para entender mejor cómo funcionan los sistemas de amortiguadores químicos, revisaremos las definiciones de los ácidos débiles y fuertes, y de las bases. Recuerda que los ácidos son donantes de protones (H^+), y que la acidez de una solución refleja sólo los iones *libres* de hidrógeno y no aquellos que están unidos por aniones. Los *ácidos fuertes* se disocian completamente y liberan sus protones al agua. En consecuencia, pueden provocar grandes cambios en el pH. Por el contrario, los *ácidos débiles* como el ácido carbónico se disocian sólo parcialmente, por lo que tienen un efecto mucho más ligero en el pH de una solución (Figura 15.12). Sin embargo, los ácidos débiles son muy eficaces en la prevención de los cambios de pH, ya que están forzados a disociarse y liberar más protones cuando el pH aumenta por encima del nivel adecuado. Esta característica les permite desempeñar un papel muy importante en el sistema de amortiguadores químicos.

Recuerda también que las bases son aceptores de protones o iones de hidrógeno. Las *bases fuertes* como los hidróxidos se disocian fácilmente en agua y retienen los protones, pero las *bases débiles* como los iones bicarbonatos (HCO_3) y el amoniaco (NH_3) son menos propensos a aceptar protones. Sin embargo, si el pH disminuye, la base débil se hace "más fuerte" y empieza a retener más iones de hidrógeno. Por lo tanto, al igual que los ácidos débiles, éstos son miembros valiosos de los sistemas de amortiguadores químicos.

Los tres sistemas de amortiguadores químicos más importantes del cuerpo son los *bicarbonatos,* los *fosfatos* y los *sistemas de amortiguadores proteínicos,* que ayudan a mantener el pH de uno o más compartimentos de fluidos. Trabajan todos en conjunto, y cualquier cosa que provoca un cambio en la concentración de H^+ en un compartimento, también lo hace en los otros. Por lo tanto, los cambios en el pH se resisten en el sistema de amortiguadores de bicarbonatos. Como consecuencia de que los tres sistemas trabajan de forma similar, examinar uno sólo, el sistema de amortiguadores de bicarbonatos, que es tan importante al prevenir cambios en el pH de la sangre, debería ser suficiente.

El **sistema de amortiguadores de bicarbonatos** es una mezcla de ácido carbónico (H_2CO_3) y su sal, el bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$). El ácido carbónico es un ácido débil, por lo que no se disocia mucho en soluciones neutras o ácidas. Por lo tanto, cuando un ácido fuerte, como el ácido clorhídrico (HCl) se añade, la mayor parte del ácido carbónico permance intacto. Sin embargo, los iones bicarbonatos (HCO_3^-) de la sal actúan como base para retener el H+ liberado por el ácido fuerte, formando ácido carbónico

$$\underset{\text{ácido fuerte}}{HCl} + \underset{\text{base débil}}{NaHCO_3} \longrightarrow \underset{\text{ácido débil}}{H_2CO_3} + \underset{\text{sal}}{NaCl}$$

El ácido fuerte se convierte (de forma eficaz) en débil, por lo que el pH de la solución sólo disminuye ligeramente.

De forma similar, si una base fuerte como el hidróxido de sodio (NaOH) se añade a una solución que contiene un sistema de amortiguadores de bicarbonatos, el $NaHCO_3$ no se disociará en condiciones tan alcalinas. Sin embargo, el ácido carbónico será forzado a disociarse más por la presencia de la base fuerte (liberando más H+ para unirse con el OH– liberado por la NaOH).

$$\underset{\text{base fuerte}}{NaOH} + \underset{\text{ácido débil}}{H_2CO_3} \longrightarrow \underset{\text{base débil}}{NaHCO_3} + \underset{\text{agua}}{H_2O}$$

El resultado neto es el cambio de una base fuerte por una débil, por lo que el pH de la solución aumenta muy poco.

Controles del sistema respiratorio

Como se describe en el Capítulo 13, el sistema respiratorio elimina dióxido de carbono de la sangre mientras "carga" oxígeno en la sangre. Recuerda que el dióxido de carbono (CO_2) entra en la sangre por las células de los tejidos, en su mayoría por los glóbulos rojos, donde se convierte en iones bicarbonatos (HCO_3^-) para el transporte de plasma, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\underset{\text{Dióxido de carbono}}{CO_2} + \underset{\text{agua}}{H_2O} \underset{\text{Anhídrisis carbónica}}{\rightleftharpoons} \underset{\text{ácido carbónico}}{H_2CO_3} \rightleftharpoons \underset{\text{iones de hidrógeno}}{H^+} + \underset{\text{iones de bicarbonatos}}{HCO_3^-}$$

Las flechas bidireccionales revelan que un aumento de dióxido de carbono empuja la reacción a la derecha, porduciendo más ácido carbónico. De esta forma, un aumento de los iones de hidrógeno desplaza la ecuación a la izquierda, produciendo más ácido carbónico. En personas sanas, el dióxido de carbono se exhala por los pulmones al mismo tiempo que se forma en los tejidos. Por lo tanto el H^+ liberado cuando el dióxido de carbono se adentra en la sangre no se puede acumular, ya que está retenido en el agua cuando el CO_2 está en los pulmones. De este modo, en condiciones normales, los iones de hidrógeno producidos por el transporte de dióxido de carbono no tienen efecto en la sangre. Sin embargo, cuando el CO_2 se acumula en la sangre (por ejemplo, en la falta de respiración) o más H^+ se libera a la sangre por los procesos metabólicos, se activan los quimorreceptores del centro de control respiratorio del cerebro. Como resultado, el nivel de respiración disminuye, y el exceso de H^+ desaparece a medida que el CO_2 de la sangre se elimina.

Por el contrario, cuando el pH de la sangre comienza a aumentar (alcalosis), el centro respiratorio se comprime. En consecuencia, el nivel y la profundidad de la respiración disminuyen, permitiendo al dióxido de carbono que se acumule en la sangre. Y de nuevo, el pH se corrige y vuelve a su valor normal. Por lo general, estas correcciones del aparato respiratorio sobre el pH de la sangre (por la regulación del contenido de CO_2 de la sangre) se completan en alrededor de un minuto.

Mecanismos renales

Los amortiguadores químicos pueden retener el exceso de ácidos o bases de forma temporal, pero no pueden eliminarlos del cuerpo. Y aunque los pulmones puedan eliminar el ácido carbónico deshaciéndose del dióxido de carbono, sólo los riñones pueden deshacerse de otros ácidos generados en el organismo durante el metabolismo. Además, sólo los riñones tienen el poder de regular los niveles alcalinos de la sangre. Por lo tanto, aunque los riñones actúen lentamente y necesiten horas o días para realizar sus cambios en el pH sanguíneo, son los mecanismos más potentes en la regulación del pH.

Los medios más importantes por los que el riñón mantiene el equilibrio ácido-base de la sangre son: (1) excretar iones de bicarbonato y (2) conservar (reabsorber) o generar los nuevos iones de bicarbonatos. Vuelve a la ecuación que muestra cómo funciona el sistema de amortiguadores ácido carbónico-bicarbonato. Advierte que la pérdida de HCO_3 produce el mismo efecto que ganar un H^+, ya que desplaza la ecuación hacia la derecha. (es decir que, desprende un ión libre de hidrógeno). Asimismo, la reabsorción o la generación de nuevo HCO_3^- produce el mismo efecto que perder un H^+, ya que tienden a combinarse con el ión de hidrógeno y desplaza la ecuación hacia la izquierda. Los mecanismos renales conllevan los siguientes ajustes: cuando el pH aumenta, los iones de bicarbonato son excretados y los iones de hidrógeno se retienen en las células tubulares. Por el contrario, cuando el pH desciende, el bicarbonato se reabsorbe y los iones de hidrógeno se excretan. El pH de la orina varía entre 4,5 y 8,0, lo que refleja la capacidad de los túbulos renales para excretar iones ácidos o básicos para mantener la homeostasis del pH de la sangre.

¿LO HAS ENTENDIDO?

16. ¿Por qué el pH sanguíneo entre 7.0 y 7.35 es considerado ácido incluso cuando la Química define el pH superior a 7.0 como básico?
17. Para minimizar el cambio de pH que se realiza cuando los ácidos fuertes se añaden al agua, ¿sería mejor añadir una base fuerte o una base débil? ¿Por qué?
18. El avión ultraligero de Pedro se ha estrellado en el desierto. Hace calor, y no tiene una botella de agua. Pensemos que va a estar ahí todo el día. ¿Cómo afectaría esta situación a su concentración de solutos de su sangre?
19. ¿Cuáles son los dos medios principales que tienen los riñones para mantener el equilibrio ácido-base de la sangre?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Formación y desarrollo del aparato urinario

Cuando se sigue el desarrollo de los riñones en un embrión joven, no se puede percibir muy bien. El primer sistema de túbulos se forma, y luego comienza a degenerarse en un segundo, más bajo. El segundo sistema, a su vez, degenera en el tercer sistema. El tercer sistema se desarrolla en los riñones funcionales, que excretan orina al tercer mes de la vida fetal. Es importante recordar que los riñones fetales no trabajan tanto como los riñones después del nacimiento, ya que el intercambio con la sangre de la madre a través de la placenta permite limpiar de muchas sustancias indeseables la sangre del feto.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Existen muchas anormalidades congénitas de este aparato. Dos de las más comunes son el riñón poliquístico y la hipospadias.

El **riñón poliquístico** es una enfermedad degenerativa aparentemente hereditaria. Uno o ambos riñones han aumentado de tamaño y presentan muchos sacos (quistes) que contienen orina. Estos quistes interfieren en la función renal obstruyendo el drenaje de la orina. Actualmente, poco se puede hacer por esta enfermedad excepto evitar más daños al riñón previniendo infecciones. La insuficiencia renal es una posibilidad, pero los trasplantes de riñones aumentan las posibilidades de sobrevivir.

La **hipospadias** es una enfermedad que se da únicamente en los bebés varones. Sucede cuando el orificio uretral se localiza en la superficie ventral del pene. La cirugía correctiva se lleva a cabo por lo general cuando el niño tiene alrededor de 12 meses. ▲

La vejiga es muy pequeña y los riñones son incapaces de contener orina los dos primeros meses de vida, por lo que los recién nacidos orinan de 5 a 40 veces al día, dependiendo de la cantidad de líquido que ingieran. A los dos meses, el bebé excreta aproximadamente 400 ml/día, y la cantidad aumenta en la adolescencia ligeramente hasta que se llega a la producción de orina adulta (1.500 ml/día).

El control voluntario del esfínter uretral se desarrolla al mismo tiempo que el aparato nervioso. A los 15 meses, la mayoría de los bebés son conscientes de si han orinado. A los 18 meses, pueden aguantar la orina en sus vejigas durante dos horas, lo que representa la primera señal de entrenamiento para ir al baño. El control durante el día se produce antes que el control nocturno. Por lo general, no es realista esperar que el control nocturno se complete antes de los cuatro años de edad.

Durante la niñez y a través de la mediana edad tardía, la mayoría de los problemas del aparato urinario son infecciosos o inflamatorios. Muchos tipos de bacterias pueden invadir el tracto urinario para provocar uretritis, cistitis o pielonefritis. La *Escherichia coli* es un residente normal del tracto digestivo y normalmente no provoca problemas, pero estas bacterias actúan como patógenos (culpables de la enfermedad) en el entorno estéril de la infección del tracto urinario. Las bacterias y los virus responsables de las enfermedades de trasmisión sexual (STD), que son en primer lugar infecciones del tracto reproductivo, conllevan el colapso de alguno de sus conductos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las infecciones de la infancia por estreptococos, como el dolor de garganta o la escarlatina pueden causar daños inflamatorios en los riñones si las infecciones originales no se tratan correctamente y pronto. Una secuela común de los niños que no han sido tratados es la **glomerulonefritis,** en la cual los filtros glomerulares se colapsan con complejos de antígenos y anticuerpos, lo que resulta en una infección por estreptococos. ▲

A medida que envejecemos, existe un declive progresivo de la talla y la función del riñón. A los 70 años, el nivel de la formación de filtrado supone sobre la mitad de un adulto de mediana edad. Se cree que esto es el resultado de la mala función de la circulación renal debida a la aterosclerosis, que afecta al sistema circulatorio en su totalidad. Además de la disminución del número de nefronas funcionales, las células tubulares se vuelven menos eficaces en su capacidad para concentrar orina.

Otra consecuencia de la edad es la reducción del funcionamiento de la vejiga y la pérdida del tono muscular de la misma, que provoca que los ancianos experimenten una necesidad imperiosa de orinar (la sensación de que se necesita orinar inmediatamente) y **polaquiuria** (orina frecuente en pequeñas cantidades). La **nicturia,** que es la necesidad de levantarse por la noche para ir al baño a orinar, afecta a casi dos tercios de la población. Para muchos, la incontinencia es el final del proceso de la vejez. Esta pérdida del

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL ***SISTEMA URINARIO*** *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*

Sistema endocrino

- Los riñones se deshacen de los residuos nitrogenados; mantienen equilibrio de electrolitos, ácido-base e hídrico; producen la hormona eritropoyetina; la regulación renal del Na^+ y el balance hidrófilo esencial para la homeostasis de la presión sanguínea y el transporte de la hormona en la sangre.
- La ADH, la aldosterona, la ANP y otras hormonas ayudan a regular la reabsorción renal de agua y electrolitos.

Sistema linfático/inmunidad

- Los riñones se deshacen de los deshechos nitrogenados; mantienen el equilibrio hídrico, ácido-base y de electrolitos de la sangre.
- Al devolver el fluido del plasmático débil al sistema cardiovascular, los vasos linfáticos ayudan a mantener la presión sanguínea normal necesaria para el funcionamiento del riñón; las células inmunes protegen los órganos urinarios de las infecciones, el cáncer y otras sustancias extrañas.

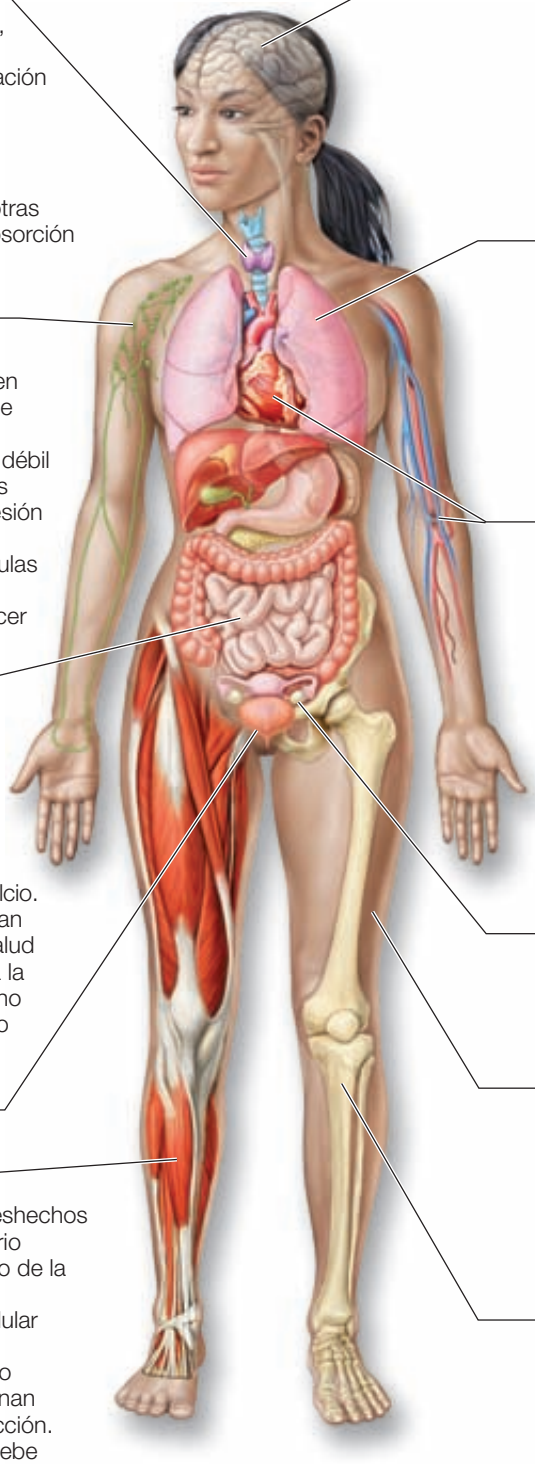
Sistema digestivo

- Los riñones se deshacen de los deshechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre; además, metabolizan la vitamina Da la forma activa necesitada para la absorción del calcio.
- Los órganos digestivos proporcionan los nutrientes necesarios para la salud celular del riñón; el hígado sintetiza la mayor parte de la urea, un deshecho nitrigenado que debe ser excretado por los riñones.

Sistema urinario

Sistema muscular

- Los riñones se deshacen de los deshechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre; regulan el contenido de Na^+, K^+ y Ca^{2+} en el fluido extracelular de la actividad muscular.
- Los músculos del diafragma pélvico y del esfínter uretral externo funcionan controlando voluntariamente la micción. La creatinina es un desecho que debe eliminarse en los riñones.



Sistema nervioso

- Los riñones de eliminan desechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre; regula el contenido de Na^+, K^+ y Ca^{2+} en el fluido extracelular.
- Control neural implicado en la micción; la actividad derivada del sistema nervioso simpático desencadena el mecanismo renina-angiotensina

Sistema respiratorio

- Los riñones eliminan los desechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre.
- El aparato respiratorio proporciona el oxígeno requerido por las células renales; deshecha el dióxido de carbono; las células del pulmón convierten la angiotensina I en angiotensina II.

Sistema cardiovascular

- Los riñones eliminan los desechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre; regula el Na^+ y el balance hidrófilo esencial para la presión por homeostasis; regula Na^+, K^+ y CA^{2+} y ayudan a mantener un funcionamiento normal del corazón.
- La presión arterial sistémica es la fuerza motriz de la filtración glomerular; el corazón secreta los péptidos natriuréticos; los vasos sanguíneos transportan los nutrientes, el oxígeno, etc. a los órganos del aparato urinario.

Aparato reproductor

- Los riñones eliminan los deshechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre.

Sistema integumentario

- Los riñones eliminan los deshechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre.
- La piel proporciona una barrera protectora externa; sirve para la fabricación de vitamina D y la pérdida de agua.

Sistema esquelético

- Los riñones eliminan los deshechos nitrogenados; mantienen el equilibrio ácido-base, de electrolitos e hídrico de la sangre.
- Los huesos de la caja torácica proporcionan protección a los riñones.

control es un golpe tremendo para el orgullo de cualquier persona anciana. La retención urinaria es otro problema común; casi siempre es el resultado de una hipertrofia de la próstata en los hombres. Algunos problemas de incontinencia y retención pueden evitarse mediate un régimen regular de actividad que mantiene el cuerpo en conjunto en condiciones óptimas y mejora los síntomas.

¿LO HAS ENTENDIDO?

20. ¿Qué es la hipospadias?
21. ¿Qué es la necesidad imperiosa de orinar, en relación con el aparato urinario? ¿Y la polaquiuria?
22. ¿Por quçe estos dos trastornos se dan con más frecuencia en los ancianos?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se presentan unas herramientas de estudio interactivo que sirven a modo de repaso adicional de los temas clave del Capítulo 15.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Riñones (págs. 518-528)

1. Los riñones se sitúan retroperitonealmente en la región lumbar superior. Cada riñón tiene una indentación medial (hilio), donde se pueden ver la arteria renal, la vena renal y un uréter. Cada riñón está envuelto en una cápsula fibrosa. Una especie de almohada grasa sujeta los riñones contra las paredes de la espalda.

   IP Urinary System Topic: Anatomy Review, page 4.

2. La sección longitudinal de un riñón muestra la corteza en la parte más externa, la médula más profunda y la pelvis medial. Las extensiones de la pelvis (cálices) envuelven los vértices de las pirámides medulares y recolectan la orina que se drena por ellas.

3. La arteria renal, que entra en el riñón, se ramifica en arterias interlobulares y segmentarias que atraviesan la médula. La arteria interlobular se bifurca en las arterias arciformes, que a su vez se ramifican para formar las arterias radiales corticales, que sirven a la corteza.

   IP Urinary System Topic: Anatomy Review, pages 5-6.

4. Las nefronas son las unidades estructurales y funcionales de los riñones. Cada una cuenta con un glomérulo y un túbulo renal. La subdivisión del túbulo renal (de los glomérulos en adelante) contiene la cápsula glomerular, el túbulo contorneado proximal, el asa de Henle, y el túbulo contorneado distal. Un segundo conjunto capilar (peritubular) también se asocia con cada nefrona.

   WEB Actividad: Chapter 15, Anatomy and Function of the Nephron.

5. Las funciones de las nefronas son la filtración, la reabsorción y la excreción. La formación del filtrado es la función de los glomérulos de alta presión. El filtrado es en esencia el plasma sin las proteínas. En la reabsorción, realizada por las células tubulares, las sustancias requeridas son eliminadas del filtrado (aminoácidos, glucosa, agua y algunos iones) y se devuelven a la sangre. Las células tubulares excretan sustancias adicionales al cuerpo en el filtrado. La excreción es importante para deshacerse de fármacos y del exceso de iones del organismo, para mantener el equilibrio ácido-base de la sangre.

   WEB Actividad: Chapter 15, Nephron Activity; Early Filtrate Processing.

   IP Urinary System Topic: Anatomy Review, pages 7-9.

6. La orina es clara, amarilla y por lo general ligeramente ácida, pero su valor de pH puede variar enormemente. Las sustancias que se encuentran normalmente en la orina son desechos nitrogenados, agua, e iones diversos (siempre incluyen sodio y potasio). Las sustancias que normalmente están ausentes en la orina son la glucosa, las proteínas, la sangre, los glóbulos blancos y la bilis.

Uréteres, vejiga urinaria y uretra (págs. 528-531)

1. Los uréteres son tubos delgados que van desde cada riñón hasta la vejiga. Conducen la orina por peristalsis.

   IP Urinary System Topic: Anatomy Review, page 3.

2. La vejiga es un saco muscular posterior a la sínfisis púbica. Tiene dos accesos (uréteres) y una salida (uretra). En el hombre, la próstata envuelve su salida. La función de la vejiga es almacenar la orina.

3. La uretra es un tubo que lleva la orina de la vejiga al exterior del cuerpo. En las mujeres, mide de 3 a 4 cm de largo y conduce únicamente la orina. En hombre, mide alrededor de 20 cm y conduce tanto la orina como el esperma. El esfínter interno del músculo liso se encuentra en la unión vejiga-uretra. El esfínter externo de músculo esquelético se localiza más abajo.
4. La micción es el vaciado de la vejiga. La micción refleja causa que el esfínter involuntario interno se abra cuando se estimulan los receptores de la pared de la vejiga. El esfínter externo se puede controlar, por lo cual la micción puede ser temporalmente pospuesta. La incontinencia es la incapacidad para controlar la micción.

Equilibrio de fluidos, electrolítico y ácido-base (págs. 531-537)

1. La composición de la sangre depende de la dieta, del metabolismo celular y de la producción de orina. Para mantener la composición de la sangre más o menos constante, los riñones deben efectuar lo siguiente:
   a. Permitir que los desechos nitrogenados (urea, amoniaco, creatinina, y ácido úrico) abandonen el cuerpo a través de la orina.
   b. Mantener el balance hídrico y el equilibrio de electrolitos al absorber más o menos agua, y reclamar iones en respuesta a las señales hormonales. La ADH aumenta la reabsorción de agua y conserva el agua corporal. La aldosterona aumenta la reabsorción de sodio y agua y disminuye la reabsorción de potasio.
   c. Mantener el equilibrio ácido-base secretando de forma activa iones de bicarbonato (y reteniendo H^+), así como absorbiendo iones de bicarbonato (y secretando H^+). Los amortiguadores químicos retienen el exceso de H^+ o las bases de forma temporal; los centros respiratorios modifican el pH de la sangre al retener el CO_2 de la sangre (aumento del pH sanguíneo). Sólo el riñón puede eliminar los ácidos metabólicos y el exceso de bases del cuerpo.

IP Fluids and Electrolytes Topic: Introduction to Body Fluids, pages 3, 8-14, 18-22.

Formación y desarrollo del aparato urinario (págs. 538, 540)

1. Los riñones comienzan a desarrollarse en las primeras semanas de vida embriónica y excretan orina a partir del tercer mes.
2. El riñón poliquístico y la hipospadias son enfermedades congénitas comunes.
3. Los problemas comunes del aparato urinario en los niños, en los jóvenes y en los adultos de mediana edad son infecciones causadas por los microorganismos fecales, los microorganismos causantes de las STD y el estreptococos.
4. La insuficiencia renal es un problema poco común, pero extremadamente serio, por el cual los riñones son incapaces de concentrar orina, y debe realizarse diálisis para mantener la homeostasis química de la sangre.
5. Con la edad, el nivel de filtración dosminuye y las células tubulares se vuelven menos eficaces en la concentración de orina, lo cual deriva en orinas frecuentes, e incontinencia. En el hombre, la retención urinaria es otro problema común.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. El examen microscópico de la sección del riñón muestra un vaso de pared gruesa con glomérulos en el tejido del vaso en una parte, pero nada en la otra parte. ¿Qué vaso es éste?
   a. La vena segmentaria.
   b. La arteria radial cortical.
   c. La vena interlobular.
   d. La arteria arcuada.
2. ¿Qué es el glomérulo?
   a. Lo mismo que el túbulo renal.
   b. Lo mismo que la cápsula de Bowman.
   c. Lo mismo que la nefrona.
   d. Capilares.
3. Mediante qué mecanismo la orina pasa a través de los uréteres?
   a. Acción ciliar.
   b. Gravedad.
   c. Peristalsis.
   d. Succión.
4. Los efectos de la aldosterona incluyen
   a. El aumento de la excreción de iones de sodio.
   b. El aumento de la retención de agua.
   c. El aumento de la concentración de iones de potasio en la orina.
   d. El aumento de la presión sanguínea.
5. ¿Cuál de los siguientes depende de la excreción tubular?
   a. Limpiar de penicilina la sangre.
   b. Eliminar los desechos nitrogenados que han sido reabsorbidos.
   c. Elimiar el exceso de los iones de potasio de la sangre.
   d. Controlar el pH.

6. ¿Cuál es el valor normal en porcentaje del peso corporal del agua en un hombre de mediana edad?
   a. 73%. c. 50%.
   b. 45%. d. 60%.
7. El compartimento de fluidos más pequeño es el
   a. fluido intracelular.
   b. fluido extracelular.
   c. plasma.
   d. fluido intersticial.
8. En el sistema de amortiguadores del ácido carbónico-bicarbonato, los ácidos fuertes se amortiguan mediante
   a. ácido carbónico.
   b. agua.
   c. iones de bicarbonato.
   d. sales del ácido fuerte.

Respuesta breve

9. Enumera los órganos del aparato urinario y describe las funciones generales de cada uno.
10. Describe la localización de los riñones en el cuerpo.
11. Haz un esquema de un corte longitudinal del riñón. Identifica y etiqueta la corteza, la médula, las pirámides, las columnas y la pelvis renales.
12. Los riñones filtran cada día alrededor de 150 litros de plasma, pero sólo se forman entre 1 y 2 litros de orina. ¿Qué sucede con el resto del fluido del plasmático?
13. Dibuja el camino que una molécula de ácido úrico toma desde el glomérulo hasta la uretra. Nombra cada estructura, grande o microscópica, que atraviese.
14. ¿Cuál es la función del glomérulo?
15. Además de eliminar los desechos del cuerpo durante el metabolismo celular, los riñones también ajustan la química sanguínea de otras formas, ¿cuáles?
16. Explica las diferencias entre filtrado y orina.
17. ¿Cómo modifica la aldosterona la composición química de la orina?
18. ¿El nombre de qué hormona significa "en contra del flujo de orina"? ¿Cuál es la enfermedad que surge si no se secreta?
19. Explica cómo el equilibrio de Na^+, el volumen de fluidos extracelulares y la presión sanguínea se regulan de forma conjunta.
20. Explica cómo los sistemas de amortiguadores químicos se resisten a los cambio en el pH.
21. Describe la función del aparato respiratorio en el control del equilibrio ácido-base.
22. ¿Por qué los análisis de orina deberían formar parte de un buen examen médico?
23. ¿En qué se diferencian, estructural y funcionalmente, los esfínteres externo e interno?
24. Define *micción,* y describe el reflejo de la micción.
25. ¿Qué pasa algunas veces cuando la orina se hace demasiado concentrada para retenerse demasiado tiempo en la vejiga?
26. Define *incontinencia.*
27. ¿Por qué la cistitis es más común en las mujeres?
28. ¿Qué tipo de problema afecta más comúnmente a los órganos del aparato urinario?
29. Describe los cambios que suceden en las funciones de la vejiga y del riñón con la vejez.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

30. Una mujer de 55 años se despierta con un dolor intenso en el abdomen derecho. El dolor no es continuo, pero recurre cada tres o cuatro minutos. Diagnostica el problema de este paciente y cita los factores que pueden favorecer este problema. Explica por qué el dolor de la mujer viene en "periodos".
31. Los padre de María la llevan al médico porque su orina es roja. Dos días antes, se le ha diagnosticado un resfriado. Le sudan la cara y las manos. ¿Cuál es el problema más probable que afecta al riñón de María?
32. Una mujer joven llega a la clínica con disuria y orinas frecuentes. ¿Cuál es el diagnóstico más probable?
33. La señora García muestra una sed excesiva y poliuria, con excesivos niveles de sodio. ¿Deberías comprobar la pituitaria o las glándulas suprarrenales? ¿Qué hormona sospechas que está involucrada? ¿Es más probable que esté ocurriendo una hiposecreción o una hipersecreción? ¿Cuál es el nombre de esta enfermedad?
34. A B.J. se le ha diagnosticado un tumor hipersecretor de la glándula paratiroidea. ¿Qué efecto tendrá en la función del túbulo renal?
35. ¿Qué pasa al nivel de producción de los glóbulos rojos en un paciente con diálisis con insuficiencia renal total? ¿Qué se podría haber dado al paciente para contrarrestar este problema? (pista: seguramente querrás comprobar la Tabla 9.2).

36. Dos estudiantes de fisiología están en desacuerdo sobre la función renal. Daniel dice que los riñones trabajan más con una dieta salada, mientras que Pedro dice que trabajan más cuando se bebe mucha agua. ¿Quién está en lo cierto?

37. El señor Jiménez, un hombre de 55 años, se opera de un tumor cerebral. Un mes más tarde, se queja de tener una sed excesiva y de orinar continuamente. Se recoge una muestra de orina y su gravedad específica es de 1,001. ¿Cuál es el diagnóstico de este problema, y qué conexión puede tener con la operación previa?

CAPÍTULO

16

El sistema reproductor

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, tendrás un conocimiento profundo acerca de las funciones del sistema reproductor y habrás conseguido los objetivos enumerados a continuación.

RESUMEN DE LAS FUNCIONES

- El sistema reproductor asegura la continuidad de la especie al producir descendencia.

NUESTROS OBJETIVOS

Anatomía del sistema reproductor masculino (págs. 546-549)

- Debatir sobre el objetivo común de los órganos del sistema reproductor.
- Cuando se tenga un diagrama o un modelo, identificar los órganos del sistema reproductor masculino y hablar sobre las funciones generales de cada uno.
- Nombrar los productos endocrino y exocrino de los testículos.
- Debatir sobre la composición del semen y nombrar las glándulas que lo producen.
- Señalar el camino que sigue un espermatozoide desde los testículos hasta el exterior del cuerpo.
- Definir *erección, eyaculación* y *circuncisión*.

Funciones reproductoras masculinas (págs. 550-553)

- Definir *meiosis* y *espermatogénesis*.
- Describir la estructura de un espermatozoide y relacionar su estructura con su función.
- Describir el efecto de las hormonas folículo-estimulante (FSH) y luteinizante (LH) en el funcionamiento de los testículos.

Anatomía del sistema reproductor femenino (págs. 553-557)

- Cuando se tenga un diagrama o un modelo, identificar los órganos del sistema reproductor femenino y hablar sobre las funciones generales de cada uno.
- Describir las funciones del folículo ovárico y del cuerpo lúteo del ovario.
- Describir *endometrio, miometrio* y *ovulación.*
- Indicar la ubicación de las siguientes regiones del útero femenino: cérvix, fundus, cuerpo.

Funciones y ciclos reproductores femeninos (págs. 557-561)

- Definir *ovogénesis.*
- Describir la influencia de las hormonas folículo-estimulante (FSH) y luteinizante (LH) en el funcionamiento de los ovarios.
- Describir las fases y los controles del ciclo menstrual.

Glándulas mamarias (págs. 561-563)

- Describir la estructura y función de las glándulas mamarias.

Estudio sobre el embarazo y el desarrollo embrionario (págs. 563-571)

- Definir *fertilización* y *zigoto.*
- Describir la implantación.
- Distinguir entre un embrión y un feto.
- Realizar una lista con las funciones principales de la placenta.
- Indicar varias de las maneras en que el embarazo altera o modifica el funcionamiento del cuerpo de la madre.
- Describir cómo empieza el parto y debatir brevemente sobre las tres fases del parto.
- Hacer una lista con los distintos agentes que pueden interferir con el desarrollo normal del feto.

Formación y desarrollo del sistema reproductor (págs. 571-578)

- Describir la importancia de la presencia o ausencia de testosterona durante el desarrollo embrionario de los órganos del sistema reproductor.
- Definir *menarquia* y *menopausia.*
- Realizar una lista con los problemas más comunes del sistema reproductor que aparecen en hombres y mujeres adultos y en la tercera edad.

La mayoría de los sistemas de órganos del cuerpo funcionan casi continuamente para mantener el bienestar de la persona. Sin embargo, el sistema reproductor parece estar "adormecido" hasta la pubertad. Las **gónadas,** u **órganos sexuales primarios,** son los *testículos* en los hombres y los *ovarios* en las mujeres. Las gónadas producen células sexuales o **gametos** y secretan hormonas sexuales. El resto de las estructuras del sistema reproductor son **órganos reproductores accesorios.** Aunque los **sistemas reproductores** del hombre y la mujer sean bastantes diferentes, su objetivo común es producir descendencia.

El papel reproductor del hombre es fabricar gametos masculinos llamados **espermatozoides** y conseguir que lleguen al tracto reproductor femenino. La mujer, a su vez, produce gametos femeninos, llamados **óvulos.** Si es un momento apropiado, el óvulo y el espermatozoide se unen para producir un huevo fertilizado, que es la primera célula de una nueva persona. Una vez que la fertilización ha tenido lugar, el útero femenino proporciona un entorno protector en el que el *embrión,* más tarde llamado *feto,* se desarrolla hasta el nacimiento.

Las hormonas sexuales juegan un papel fundamental tanto en el desarrollo y funcionamiento de los órga-

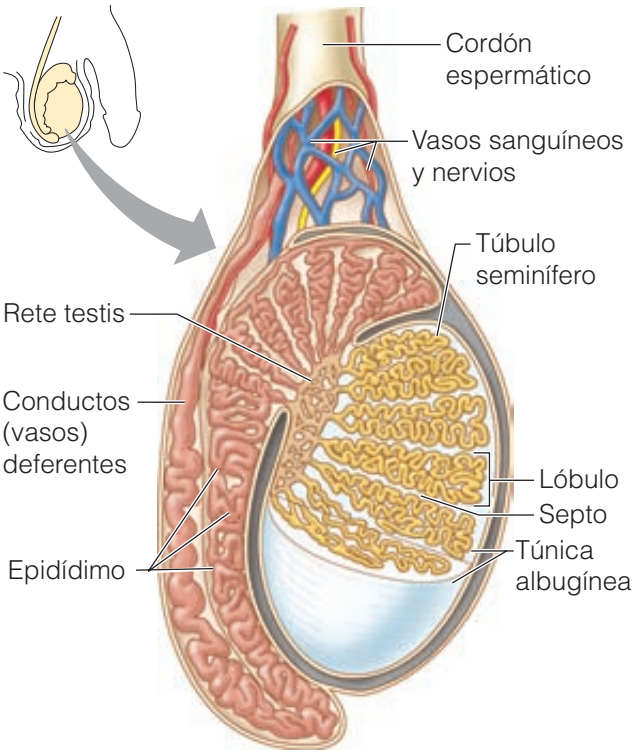


FIGURA 16.1 Corte sagital de los testículos y el epidídimo correspondiente.

nos reproductores como en el comportamiento y en los impulsos sexuales. Estas hormonas también influyen en el crecimiento y desarrollo de muchos otros tejidos y órganos del cuerpo.

Anatomía del sistema reproductor masculino

Como ya se ha dicho, los órganos reproductores primarios del hombre son los **testículos** o *gónadas masculinas,* que tienen tanto una función exocrina (la producción de espermatozoides) como endocrina (la producción de testosterona). Las estructuras reproductoras accesorias o anexas son conductos o glándulas que ayudan a transportar los espermatozoides al exterior del cuerpo o al tracto reproductor femenino.

Testículos

Cada testículo tiene el tamaño aproximado de una ciruela, midiendo aproximadamente 4 cm de largo y 2,5 cm de ancho. Una cápsula fibrosa de tejido conectivo, la *túnica albugínea* ("envoltura blanca") rodea a cada testículo. Las extensiones de esta cápsula *(septo)* profundizan en el testículo y lo dividen en un gran número de *lóbulos* con forma de cuña. Cada lóbulo contiene de uno a cuatro **túbulos seminíferos** fuertemente enrollados, las "fábricas de formación de espermatozoides" (Figura 16.1). Los túbulos seminíferos de cada lóbulo vierten el esperma en otro grupo de túbulos, la *rete testis,* situada a un lado del testículo. Los espermatozoides viajan a través de la rete testis para entrar en la primera parte del sistema de conductos, el *epidídimo,* que rodea la superficie exterior del testículo.

Situadas en el suave tejido conectivo alrededor de los túbulos seminíferos están las *células intersticiales,* células funcionalmente diferenciadas que producen andrógenos, de los que el más importante es la *testosterona.* Así, las funciones de producción de espermatozoides y de hormonas de los testículos se realizan a través de poblaciones de células totalmente diferentes.

Sistema de conductos

Los órganos anexos que forman el sistema masculino de conductos, que transporta los espermatozoides del cuerpo, son el *epidídimo, el conducto deferente* y la *uretra* (Figura 16.2).

Epidídimo

El **epidídimo,** con forma de taza, es un tubo fuertemente enrollado, de alrededor de 6 m de longitud, que cubre la parte superior del testículo y que también va a lo largo de su parte trasera (véase la Figura 16.1). El epidídimo es la primera parte del sistema masculino de conductos y proporciona un lugar de almacenamiento temporal para los espermatozoides inmaduros que llegan a él procedentes del testículo. A medida que los espermatozoides se van abriendo camino a lo largo del paso tortuoso del epidídimo (un recorrido que les toma unos 20 días), también van madurando, ganando la capacidad de nadar. Cuando un hombre es estimulado sexualmente y eyacula, las paredes del epidídimo se contraen para bombear el esperma a la siguiente parte del sistema de conductos, el conducto deferente.

Conducto deferente

El **conducto deferente,** o **vaso deferente,** sube desde el epidídimo por el canal inguinal a la cavidad pélvica y se arquea por encima de la parte superior de la vejiga urinaria. Este tubo está cerrado, junto con vasos sanguíneos y nervios, en una vaina de tejido conectivo, el **cordón espermático** (véase la Figura 16.1), que se dirige hacia arriba a través del canal inguinal. Allí, el conducto da media vuelta sobre el uréter y desciende a lo largo de la pared posterior de la vejiga. El extremo del conducto deferente se ensancha en la denominada **ampolla** y

P *Al observar este diagrama, es fácil ver cómo la hipertrofia de la glándula prostática puede ocasionar problemas del sistema urinario. ¿Por qué?*

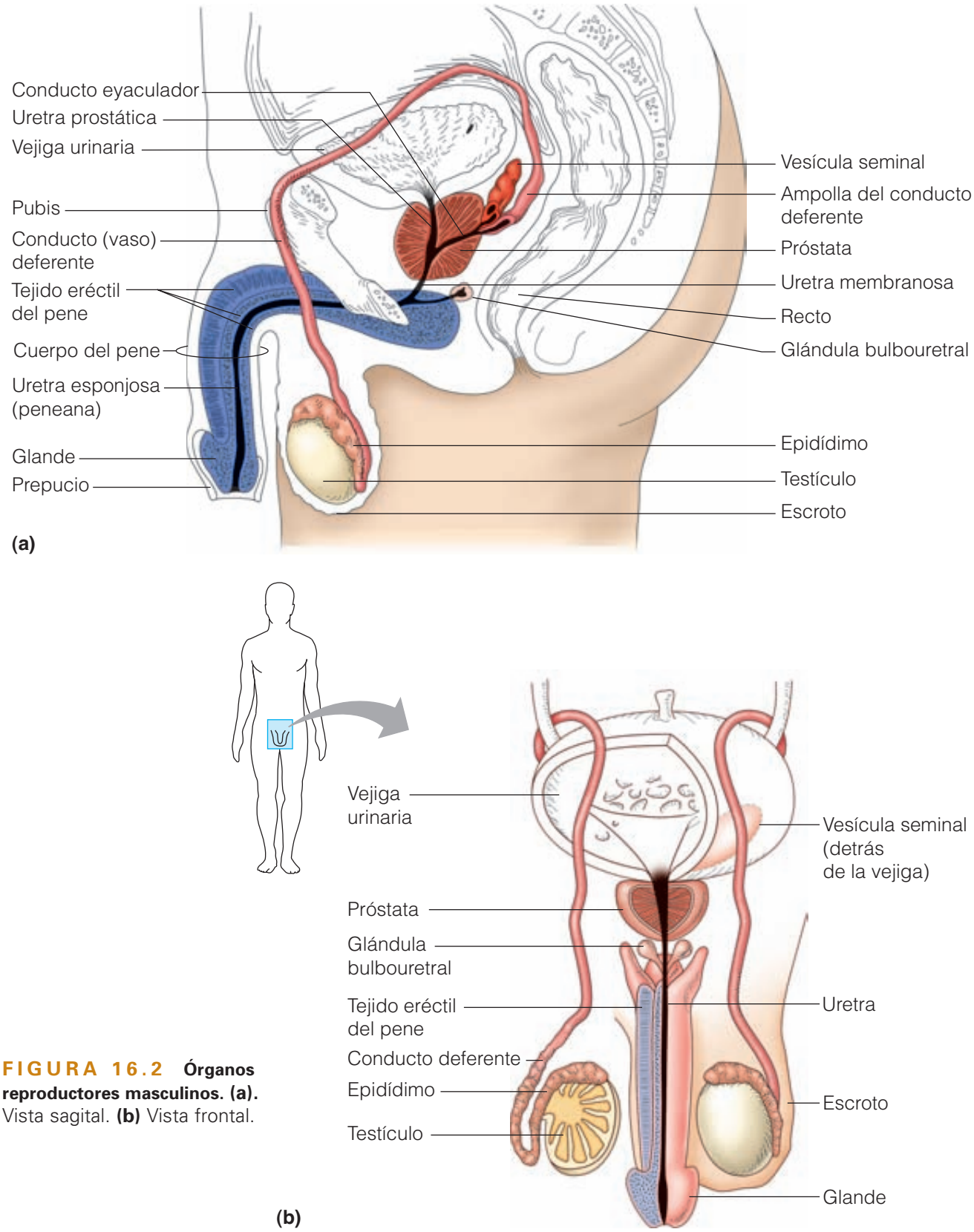


FIGURA 16.2 **Órganos reproductores masculinos. (a).** Vista sagital. **(b)** Vista frontal.

R *Como la glándula prostática rodea la parte superior de la uretra, una hipertrofia prostática apretaría la uretra en esa región, obstaculizando la micción.*

después vierte su contenido en el **conducto eyaculador,** que pasa por la glándula prostática para unirse con la uretra. La función principal del conducto deferente es la de propulsar esperma vivo desde sus lugares de almacenamiento, el epidídimo y la parte distal del conducto deferente, a la uretra. En el momento de la **eyaculación,** las gruesas capas de músculo liso en sus paredes crean olas peristálticas que rápidamente oprimen el esperma, empujándolo hacia delante.

Como muestra la Figura 16.2, parte del conducto deferente se encuentra en el escroto, que cuelga por fuera del cuerpo. Algunos hombres optan voluntariamente por responsabilizarse en su totalidad del control de natalidad haciéndose una *vasectomía* ("corte de los vasos"). En esta operación relativamente menor, el cirujano realiza una pequeña incisión en el escroto y corta y liga el conducto deferente. Se seguirá produciendo esperma, pero ya no podrá salir al exterior del organismo, deteriorándose y siendo fagocitado finalmente. Un hombre se vuelve estéril después de esta intervención pero, como sigue produciendo testosterona, mantendrá el impulso sexual y las características sexuales secundarias.

Uretra

La **uretra,** que se extiende desde la base de la vejiga urinaria hasta la punta del pene, es la parte terminal del sistema masculino de conductos. Tiene tres zonas: (1) la **uretra prostática,** rodeada por la glándula prostática; (2) la **uretra membranosa,** que abarca la distancia desde la uretra prostática hasta el pene; y (3) la **uretra esponjosa (peneana),** que tiene la misma longitud que el pene. Como se mencionó en el Capítulo 15, la uretra masculina transporta tanto la orina como el esperma hacia el exterior del cuerpo, por eso sirve tanto al sistema excretor (urinario) como al sistema reproductor. Sin embargo, la orina y el esperma nunca pasan al mismo tiempo. Cuando tiene lugar la eyaculación y el esperma entra en la uretra prostática desde los conductos eyaculadores, el esfínter de la vejiga (el esfínter interno de la uretra) se contrae. Esto no sólo evita el paso de orina a la uretra, sino que evita también que el esperma entre en la vejiga urinaria.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. ¿Cuáles son las dos funciones principales de los testículos?
2. ¿Cuál es el papel de los túbulos seminíferos?
3. Nombra los órganos del sistema masculino de conductos, en orden, desde el escroto hasta el exterior del cuerpo.

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Glándulas anexas y semen

Entre las glándulas anexas se incluyen las *vesículas seminales,* que son dos: la *próstata,* que es una, y las *glándulas bulbouretrales* (véase la Figura 16.2). Estas glándulas producen el *semen,* el líquido que contiene esperma y que es expulsado del tracto reproductor masculino durante la eyaculación.

Vesículas seminales

Las **vesículas seminales,** localizadas en la base de la vejiga, producen alrededor del 60% de *líquido seminal,* el volumen líquido del semen. Su densa y amarillenta secreción es rica en azúcar (fructosa), vitamina C, prostaglandinas y otras sustancias que alimentan y activan el esperma que pasa por el tracto. El conducto de cada vesícula seminal se une al del conducto deferente en el mismo lado para formar el conducto eyaculador (véase la Figura 16.2). Así, el esperma y el líquido seminal entran juntos en la uretra durante la eyaculación.

Próstata

La **próstata** es una glándula única con forma circular y de tamaño parecido a un hueso de melocotón (véase la Figura 16.2). Rodea la parte superior (prostática) de la uretra, justo por debajo de la vejiga. La secreción de la glándula prostática es un líquido lechoso que juega un papel a la hora de activar los espermatozoides. Durante la eyaculación, el líquido entra en la uretra a través de varios conductos pequeños. Como la próstata está localizada inmediatamente antes del recto, su tamaño y textura pueden palparse mediante un examen digital (con los dedos) a través de la pared anterior del recto.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La próstata tiene fama de ser mala para la salud. La hipertrofia de la glándula, que afecta a casi cada hombre de edad avanzada, estrangula la uretra. Esta afección hace que orinar se vuelva difícil, aumenta el riesgo de infecciones de vejiga **(cistitis)** y de daños a los riñones. El tratamiento tradicional ha sido la cirugía, pero algunas nuevas opciones se están volviendo más populares. Entre éstas se incluyen las siguientes:

- El uso de medicamentos (finasterida) o microondas para encoger la próstata.
- Insertar un pequeño globo inflable para comprimir el tejido de la próstata lejos de la uretra.
- Insertar una aguja minúscula que emite radiación de radiofrecuencia a golpecitos, lo cual incinera el exceso de tejido prostático.

La **prostatitis,** o inflamación de la próstata, es el motivo más común de consulta de los hombres a los urólogos, y el **cáncer de próstata** es el tercer tipo de cáncer más frecuente en los hombres. En general, el cáncer de próstata es una enfermedad oculta de lento crecimiento, pero también se presenta como un asesino rápido y mortal. ▲

Glándulas bulbouretrales

Las **glándulas bulbouretrales** son minúsculas glándulas, del tamaño de un guisante, situadas debajo de la glándula prostática. Producen una mucosa espesa y clara que desagua en la uretra peneana. Esta secreción es la primera que pasa por la uretra cuando un hombre se excita sexualmente. Limpia y aclara la uretra de restos de orina, que es ácida, y sirve como lubricante durante el acto sexual.

Semen

El **semen** es una mezcla, de color blanco-lechoso y algo pegajosa, formada por esperma y secreciones de las glándulas anexas. La parte líquida sirve de medio de transporte para nutrientes y sustancias químicas que protegen el esperma y le ayudan en su movimiento. Los espermatozoides maduros son estilizados "misiles" celulares que contienen poco citoplasma o nutrientes almacenados. La fructosa presente en la secreción de la vesícula seminal proporciona casi toda la energía necesaria. La alcalinidad relativa de semen (pH 7,2-7,6) ayuda a neutralizar el medio ácido (pH 3,5-4) de la vagina femenina, protegiendo el delicado esperma. Los espermatozoides se vuelven muy perezosos y lentos en condiciones ácidas (por debajo de un pH 6). El semen también contiene *plasmina seminal* (una sustancia química antibiótica que destruye ciertas bacterias), la hormona relaxina, ciertas enzimas que aumentan la motilidad de los espermatozoides y sustancias que inhiben una respuesta inmune en el tracto reproductor femenino. El semen también diluye el esperma; sin esa dilución, la motilidad del semen estaría seriamente perjudicada. La cantidad de semen expulsado del sistema masculino de conductos durante la eyaculación es relativamente pequeña, sólo de 2 a 5 ml. (como una cucharadita), pero hay entre 50 y 150 millones de espermatozoides en cada mililitro.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La infertilidad masculina puede estar causada por obstrucciones en el sistema de conductos, desequilibrios hormonales, estrógenos del entorno, pesticidas, alcohol en exceso y muchos otros factores. Una de las primeras series de pruebas que se realizan cuando una pareja ha sido incapaz de concebir es el *análisis del semen.* Entre los factores analizados se incluyen el conteo de espermatozoides, su motilidad y morfología (forma y madurez), volumen de semen, pH y contenido en fructosa. Una cantidad de espermatozoides menor de 20 millones por mililitro hace que la concepción sea improbable. ▲

Genitales externos

Los **genitales externos** masculinos incluyen el *escroto* y el *pene* (véase la Figura 16.2). El **escroto** es un saco de piel que cuelga fuera de la cavidad abdominal, entre las piernas y en la base del pene. El escroto suele colgar libremente del cuerpo, proporcionando a los testículos una temperatura menor que la del cuerpo. Ésta es una ubicación bastante expuesta para los testículos de un hombre, ya que contienen toda su herencia genética pero, aparentemente, no se puede producir esperma viable a la temperatura normal del cuerpo. El escroto, con una temperatura de unos 3° C menos, es necesario para la producción de esperma sano. Cuando la temperatura externa es muy fría, el escroto se encoge mucho, tirando de los testículos hacia el calor de la pared corporal. Así, los cambios en el área superficial del escroto mantienen una temperatura que favorece la producción de esperma viable.

El **pene** está diseñado para introducir esperma en el tracto reproductor femenino. El pene cubierto de piel consiste en un **eje** o cuerpo, que termina en una punta alargada, el **glande.** La piel que cubre el pene está suelta y se doble hacia abajo para formar un pliegue de piel, el **prepucio,** rodeando el extremo más cercano del glande. Con frecuencia, el prepucio se elimina mediante una sencilla operación quirúrgica poco después del nacimiento por un procedimiento llamado *circuncisión.*

Internamente, la uretra esponjosa (véase la Figura 16.1) está rodeada por tres áreas alargadas de **tejido eréctil,** un tejido esponjoso que se llena de sangre durante la excitación sexual. Esto hace que el pene se alargue y se vuelva rígido. Este hecho, llamado **erección,** ayuda a que el pene sirva como órgano de penetración para que el semen llegue al tracto reproductor femenino.

¿LO HAS ENTENDIDO?

4. ¿Cuál es la función del tejido eréctil del pene?
5. Menciona una función importante de cada uno de los dos componentes del semen.
6. Adolfo, un caballero de 68 años de edad, tiene problemas para orinar y le hacen un examen rectal. ¿Qué enfermedad tiene con más probabilidad y cuál es el objetivo del examen rectal?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

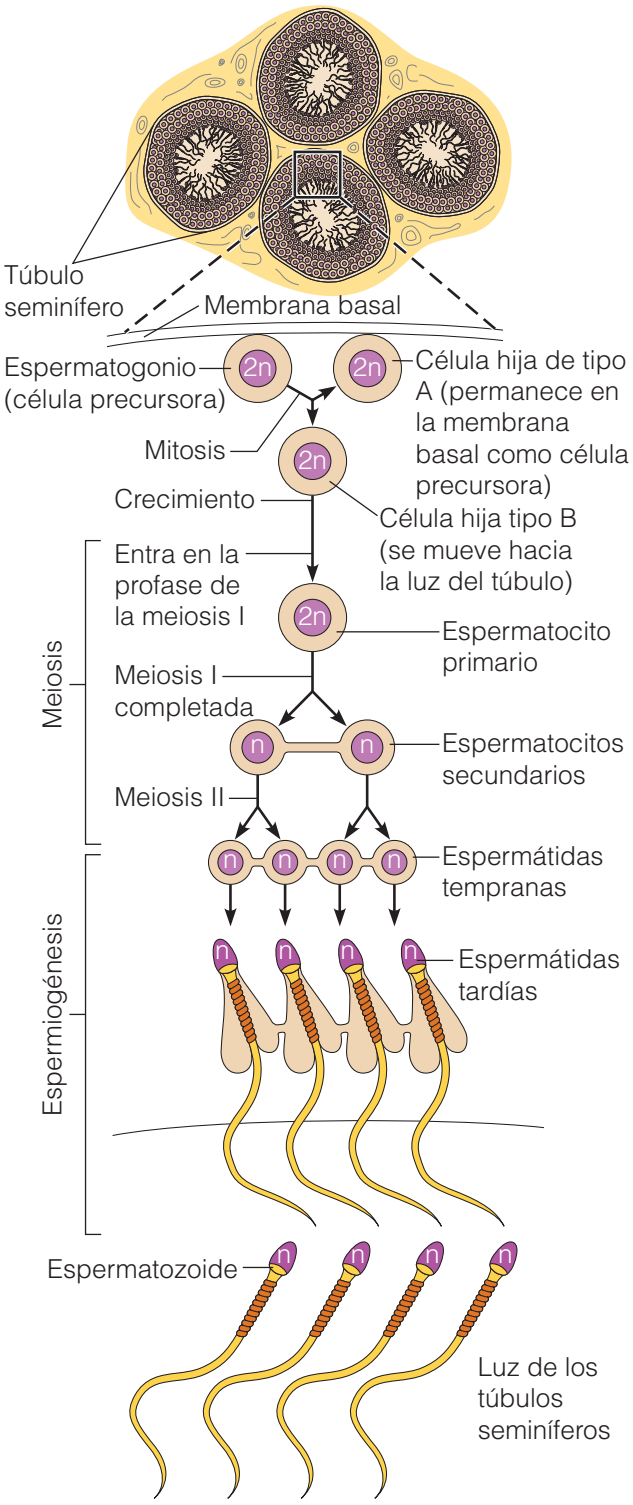


FIGURA 16.3 Espermatogénesis. Diagrama de flujo que muestra la posición relativa de las células espermatogénicas o germinales en la pared del túbulo seminífero. Aunque las células precursoras y los espermatocitos primarios tienen el mismo número de cromosomas (46, designados como 2*n*) que otras células del organismo, los productos de la meiosis (espermátidas y esperma) sólo tienen la mitad (23, designados como *n*).

Funciones reproductoras masculinas

El papel principal del hombre en el proceso reproductivo es la producción de espermatozoides y de la hormona testosterona. Estos procesos se describen a continuación.

Espermatogénesis

La producción de espermatozoides, o **espermatogénesis,** empieza durante la pubertad y continúa a lo largo de la vida. Cada día, un hombre fabrica millones de espermatozoides. Sólo uno fertiliza un óvulo, así que parece que la naturaleza se ha asegurado el hecho de que la especie humana no se vea amenazada por falta de espermatozoides.

Como se ha visto con anterioridad, los espermatozoides se forman en los túbulos seminíferos de los testículos. Como muestra la Figura 16.3, el proceso comienza con unas células precursoras primitivas llamadas **espermatogonias,** que se encuentran en el extremo exterior, o periferia, de cada túbulo. Las espermatogonias pasan por una serie de divisiones mitóticas rápidas para construir la línea de células precursoras. Desde el nacimiento hasta la pubertad, todas estas divisiones simplemente producen más células precursoras. Du-

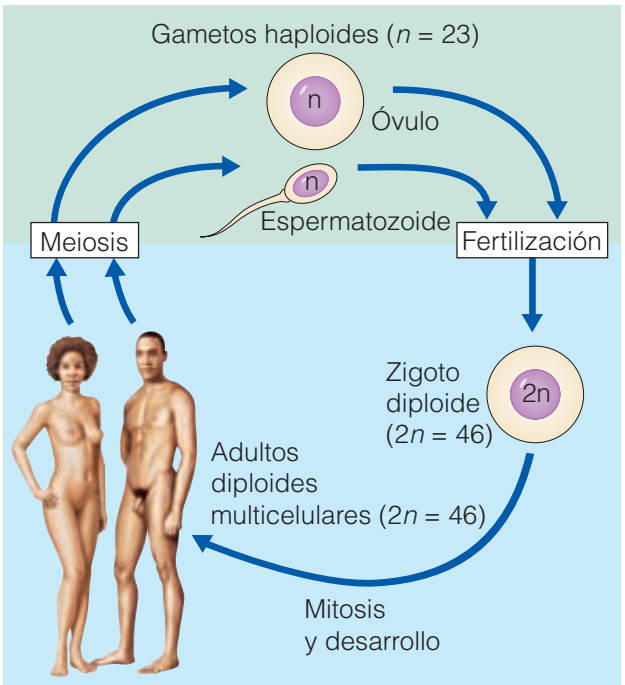


FIGURA 16.4 El ciclo de la vida humana.

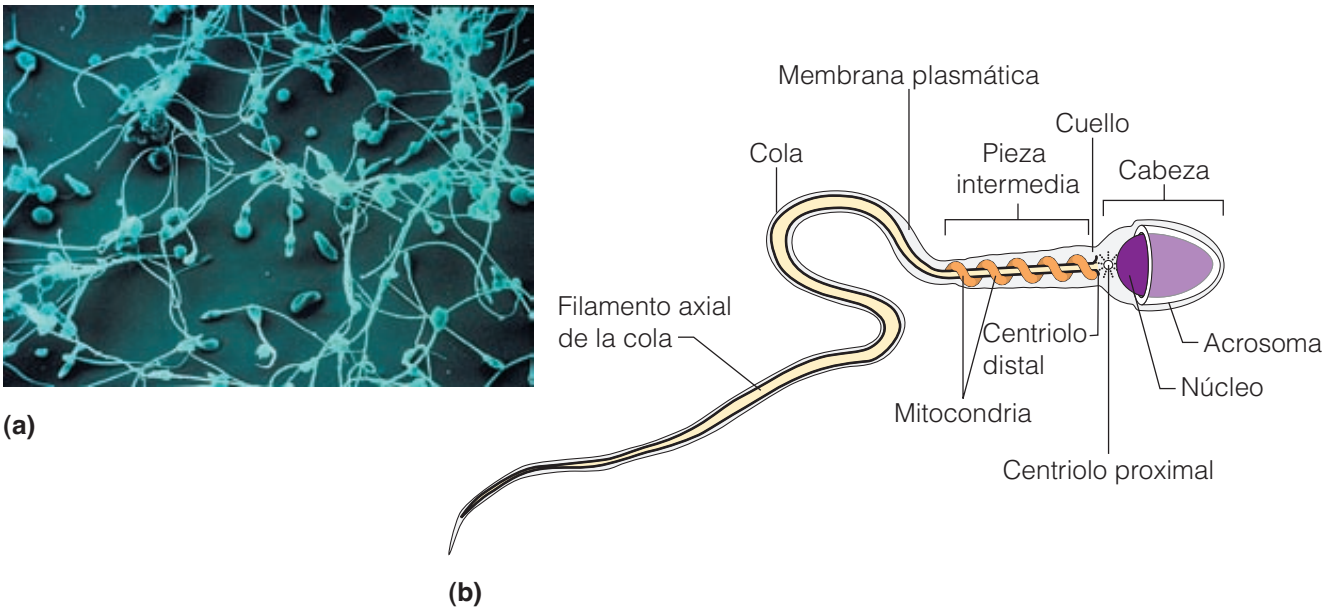


FIGURA 16.5 **Estructura de un espermatozoide. (a)** Micrografía electrónica por escáner de esperma maduro (600×). **(b)** Diagrama de un espermatozoide.

rante la pubertad, sin embargo, la *hormona folículo-estimulante (FSH)* es secretada en cantidades cada vez mayores por la glándula pituitaria anterior y, a partir de este momento, cada división de una espermatogonia produce una célula precursora, llamada *célula hija tipo A,* y otra célula, llamada *célula hija tipo B.* La célula tipo A permanece en la periferia del túbulo para mantener la población de células precursoras. La célula tipo B es empujada hacia la luz del túbulo, donde se vuelve un **espermatocito primario,** destinado a sufrir *meiosis* y a formar cuatro espermatozoides. La **meiosis** es un tipo especial de división nuclear que ocurre en su mayor parte sólo en las gónadas (testículos y ovarios). Se diferencia de la *mitosis* (descrita en el Capítulo 3) por las dos divisiones sucesivas del núcleo (llamadas meiosis I y II) que dan como resultado cuatro células hijas (en vez de dos) o, dicho con mayor precisión, cuatro *gametos.* En la espermatogénesis, los gametos reciben el nombre de **espermátidas.** Éstas sólo tienen la mitad de material genético que otras células del cuerpo. En humanos, esto se traduce en 23 cromosomas (o el llamado número *n* de cromosomas), en vez de los 46 (2*n*) normales. Así, cuando el espermatozoide se une al óvulo (que también tiene 23 cromosomas) formando el óvulo fertilizado o zigoto, el número normal 2*n* de 46 cromosomas se restablece y se mantiene en las sucesivas células del organismo por el proceso de mitosis (Figura 16.4).

Cuando la meiosis tiene lugar, las células en proceso de división (los espermatocitos primarios y posteriormente secundarios) son empujadas hacia la luz del túbulo. Así, el progreso de la meiosis se puede seguir desde la periferia del túbulo hasta su luz. Las espermátidas, que son los productos de la meiosis, son espermatozoides *no* funcionales. No tienen motilidad y sí demasiado equipaje como para funcionar bien en la reproducción. Deben sufrir más cambios, en los que se despojan de su exceso de citoplasma y se les forma una cola (véase la Figura 16.3). En esta última fase del desarrollo de los espermatozoides, llamada **espermiogénesis,** éstos se deshacen de todo el exceso de citoplasma y lo que queda se compacta en las tres regiones del espermatozoide maduro: la *cabeza,* la *pieza intermedia* y la *cola* (Figura 16.5). El espermatozoide maduro es una célula muy bien diseñada, equipada con un gran metabolismo y un medio de autopropulsión, lo que le capacita para moverse a largas distancias en poco tiempo para llegar al óvulo. Es un ejemplo excelente de integración entre forma y función.

Los espermatozoides van ligeros de equipaje. Su *cabeza* contiene DNA compactado, el material genético. En esencia, *es* el núcleo de la espermátida. Anterior al núcleo está el **acrosoma,** con forma de casco y producido por el aparato de Golgi. Su forma es similar a la de un gran lisosoma. Cuando un espermatozoide se acerca mucho a un óvulo (o, de modo más preciso, un *ovocito*), la membrana del acrosoma se rompe, liberando

¿Cuál es el efecto de una respuesta negativa de la testosterona en la pituitaria anterior y en las células del hipotálamo?

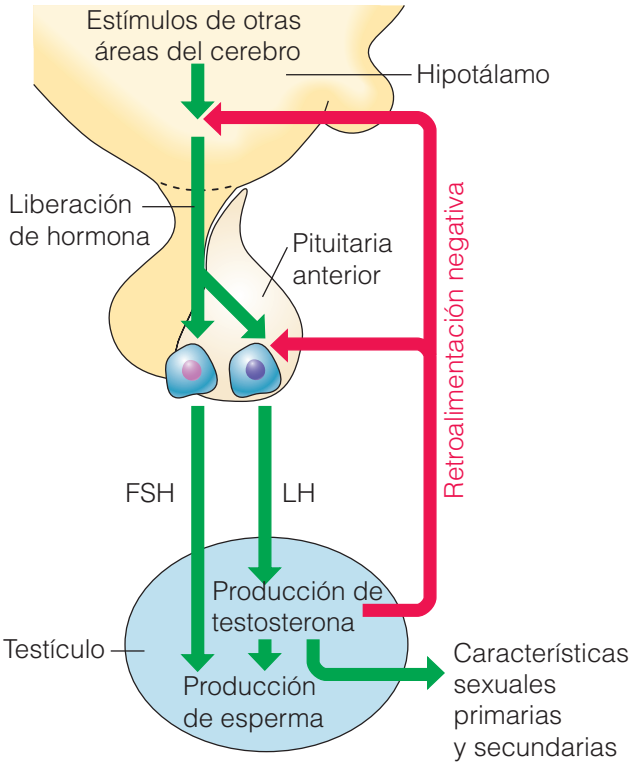


FIGURA 16.6 **Control hormonal de los testículos.**

enzimas que ayudan a que el espermatozoide penetre a través de las células del folículo que rodean al óvulo. Los *filamentos*, que forman la larga cola, surgen desde los centriolos de la pieza intermedia. Las *mitocondrias*, que se enrollan con fuerza alrededor de estos filamentos, proporcionan el ATP necesario para los movimientos de látigo de la cola que impulsan al espermatozoide a lo largo de su camino por el tracto reproductor femenino.

Todo el proceso de la espermatogénesis, desde la formación del espermatocito primario a la liberación del espermatozoide inmaduro en la luz del túbulo, dura de 64 a 72 días. Los espermatozoides en la luz no pueden "nadar" y son incapaces de fertilizar un óvulo. Son movidos por peristalsis a lo largo de los túbulos de los testículos hasta el epidídimo. Allí pasan por otro proceso de maduración que les dota de una mayor motilidad y capacidad fertilizadora.

"Desconecta" el factor de liberación del hipotálamo que inicia la secreción de hormona luteinizante (LH), por lo que la secreción de LH también termina por fallar.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Las amenazas medioambientales pueden alterar el proceso normal de formación de los espermatozoides. Por ejemplo, algunos antibióticos comunes, como la penicilina o la tetraciclina, pueden anular la formación de los espermatozoides. La radiación, el plomo, algunos pesticidas, la marihuana, el tabaco y el abuso del alcohol pueden producir espermatozoides anómalos (con dos cabezas, con varias colas, etc.). ▲

Producción de testosterona

Como se ha señalado con anterioridad, las células intersticiales producen **testosterona,** el principal producto hormonal de los testículos. Durante la pubertad, conforme la FSH estimula a los túbulos seminíferos para producir espermatozoides, las células intersticiales se activan a través de la **hormona luteinizante (LH),** que se libera también por la glándula pituitaria anterior (Figura 16.6). Desde ese momento, la testosterona se produce continuamente (más o menos) a lo largo de la vida del hombre adulto. El aumento del nivel de testosterona en la sangre de los individuos jóvenes estimula los impulsos del desarrollo del adolescente, estimula el crecimiento de los órganos reproductores a su tamaño adulto, refuerza el impulso sexual y produce la aparición de las características sexuales secundarias masculinas. Las **características sexuales secundarias** son inducidas por las hormonas sexuales en los *órganos no reproductores*. Entre las características sexuales secundarias masculinas figuran:

- La voz se hace más grave conforme la laringe aumenta de tamaño.
- Aumenta el crecimiento del pelo por todo el cuerpo, particularmente en las zonas axilar y púbica y en la cara (la barba y el bigote).
- Se incrementa el tamaño de los músculos esqueléticos para producir la masa muscular más pesada típica del físico masculino.
- Aumenta el peso del esqueleto debido al crecimiento de los huesos y a un incremento en su densidad.

Como la testosterona es la responsable de la aparición de estas típicas características masculinas, a menudo se la denomina la hormona "masculinizante".

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si no se produce testosterona, las características sexuales secundarias no aparecerán en el joven y sus demás órganos reproductores se quedarán con el aspecto de los de un niño. Esto es el **infantilismo sexual.** La castración del hombre adulto (o la incapacidad de sus células intersticiales para producir testosterona) resulta en una disminución del ta-

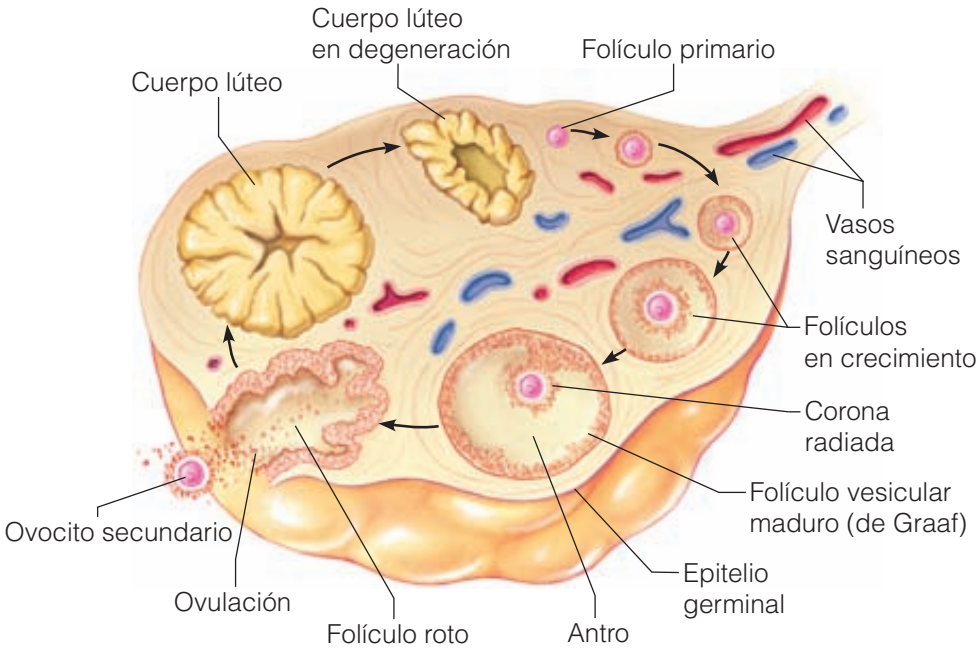


FIGURA 16.7 **Vista sagital de un ovario humano mostrando las fases de desarrollo de un folículo ovárico.**

maño y el funcionamiento de sus órganos reproductores, así como en un descenso de su impulso sexual. La **esterilidad** también ocurre, debido a que la testosterona es necesaria para las etapas finales de la producción de espermatozoides. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

7. ¿Qué hormona pituitaria estimula la espermatogénesis?
8. ¿En qué se diferencia el producto final de la meiosis del producto final de la mitosis?
9. ¿Cómo se convierten las espermátidas sin motilidad en espermatozoides funcionales?
10. ¿Qué hormona pituitaria inicia la producción de testosterona?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Anatomía del sistema reproductor femenino

El papel reproductor de la mujer es mucho más complejo que el del hombre. No sólo tiene que producir los gametos femeninos (óvulos), sino que su cuerpo también ha de alimentar y proteger un feto en desarrollo durante nueve meses de gestación. Los **ovarios** son los órganos reproductores femeninos primarios. Al igual que los testículos, los ovarios fabrican tanto un producto exocrino (óvulos) como productos endocrinos (estrógenos y progesterona). Los demás órganos del sistema reproductor femenino sirven como estructuras accesorias para el transporte, la alimentación o cualquier otro propósito que satisfaga las necesidades de las células reproductoras y/o del feto en desarrollo.

Ovarios

El par de *ovarios* tiene una forma muy parecida a la de unas almendras, pero con casi el doble de su tamaño. Si miramos un ovario por dentro, veremos muchas estructuras minúsculas parecidas a sacos llamadas **folículos ováricos** (Figura 16.7). Cada folículo consiste en un óvulo inmaduro, llamado **ovocito,** rodeado por una o más capas de distintas células llamadas **células foliculares.** A medida que un óvulo en desarrollo dentro de un folículo empieza a madurar, el folículo aumenta de tamaño y desarrolla una zona central llena de líquido llamado *antro.* En esta etapa, el folículo, llamado **folículo vesicular o de Graaf,** ya es maduro y el óvulo en desarrollo está listo para ser expulsado del ovario, acontecimiento que recibe el nombre de **ovulación.** Después de la ovulación, el folículo roto se transforma en

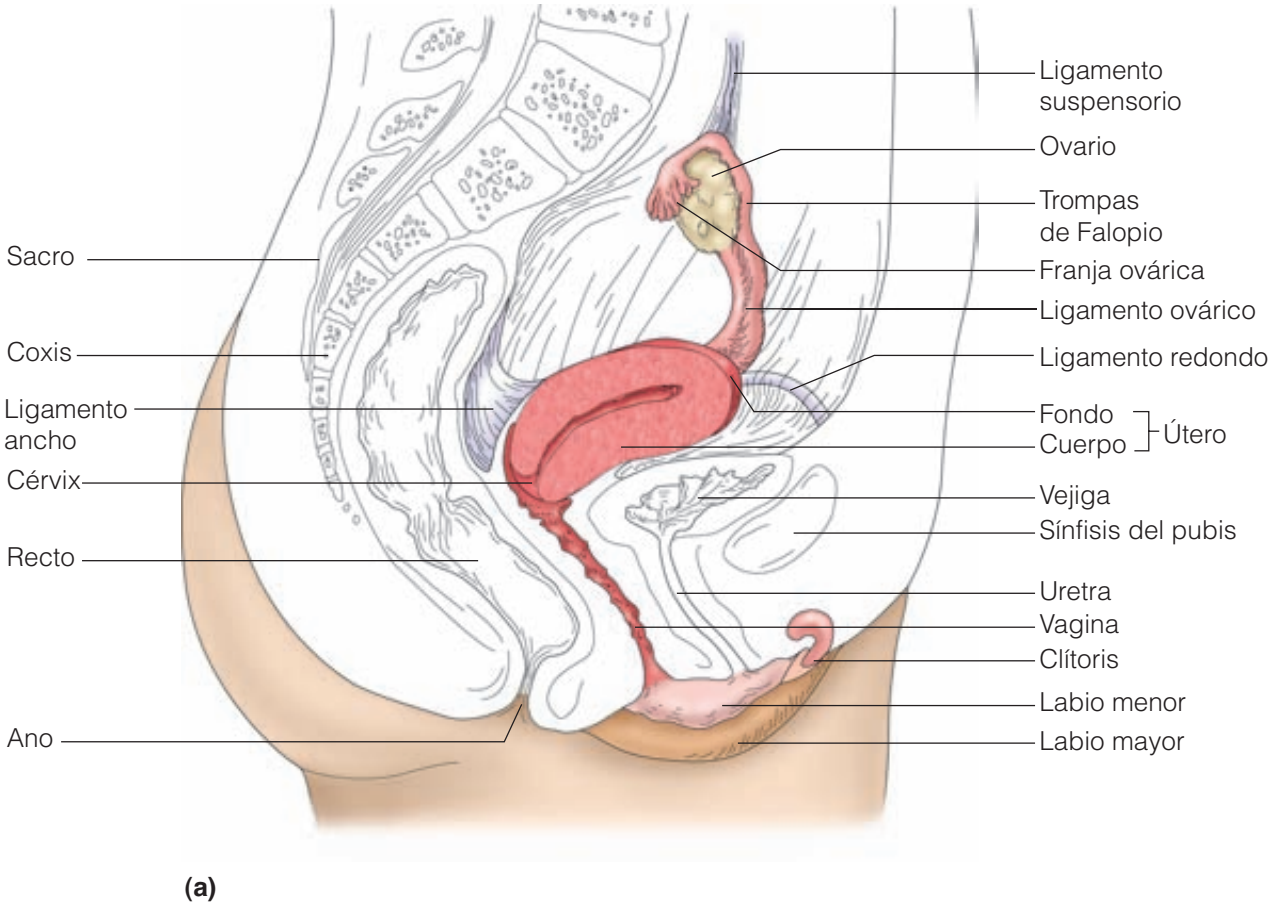


FIGURA 16.8 Órganos reproductores femeninos.
(a) Corte sagital. (Labio menor y mayor se suelen encontrar en plural, ya que en cada caso se trata de dos).

una estructura de apariencia muy diferente llamada **cuerpo lúteo,** que finalmente se degenera. La ovulación suele ocurrir cada 28 días, pero puede tener lugar con mayor o menor frecuencia dependiendo de la mujer. En las mujeres mayores, las superficies de los ovarios están llenas de cicatrices y hoyos, prueba del hecho de que se han liberado muchos óvulos.

Los ovarios están sujetos a las paredes laterales de la pelvis por los **ligamentos suspensorios.** Éstos flanquean el útero por los laterales y se anclan a él centralmente mediante los **ligamentos ováricos** (Figura 16.8). En medio, se hallan contenidos y sujetos por un pliegue del peritoneo llamado **ligamento ancho.**

Sistema de conductos

Los *tubos uterinos,* el *útero* y la *vagina* forman el sistema de conductos del tracto reproductor femenino (véase la Figura 16.8).

Trompas de Falopio

Las **trompas de Falopio** o **uterinas** forman la parte inicial del sistema de conductos. Reciben el ovocito ovulado y proporcionan un lugar en el que puede ocurrir la fertilización. Cada uno de los tubos de Falopio mide alrededor de 10 cm de longitud y se extiende desde el ovario para desembocar en la parte superior del útero. Al igual que los ovarios, las trompas de Falopio están rodeadas y sostenidas por el ligamento ancho. A diferencia del sistema masculino de conductos, que se continúa con el sistema de túbulos de los testículos, hay muy poco o ningún contacto entre las trompas de Falopio y los ovarios. El extremo distal de cada trompa se abre como un embudo, denominándose *infundíbulo,* con unas proyecciones en forma de dedos llamadas **fimbrias,** a medida que se acerca y rodea al ovario. Cuando un ovocito es expulsado de un ovario durante la ovulación, las fimbrias ondulantes crean corrientes de líquidos que hacen que el ovocito sea trans-

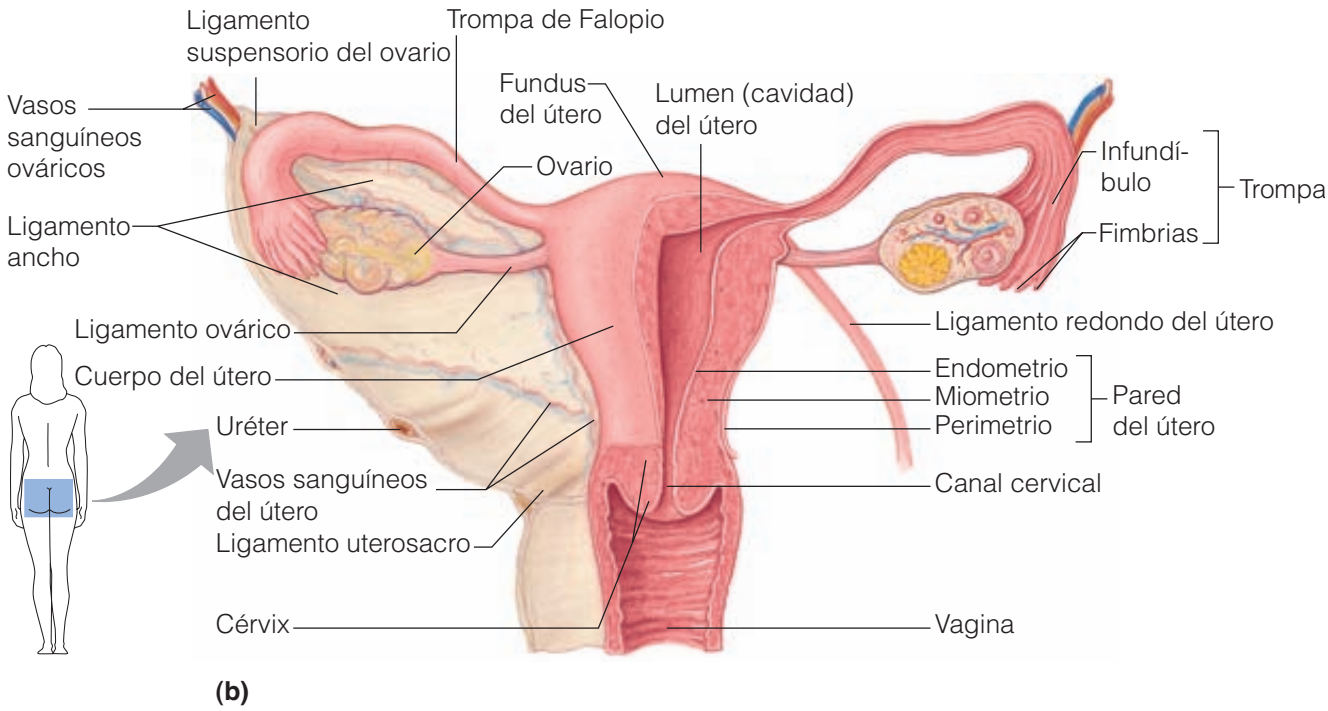


FIGURA 16.8 ***(continuación)*** **Órganos reproductores femeninos.**
(b) Vista posterior. A la derecha se han eliminado las paredes posteriores de los órganos para revelar la forma del lumen de la trompa de Falopio, del útero y de la vagina.

portado hacia la trompa de Falopio, donde comienza su recorrido hacia el útero. (Obviamente, sin embargo, muchos óvulos potenciales se pierden en la cavidad peritoneal). El ovocito es transportado hacia el útero mediante una combinación de peristalsis y las pulsaciones rítmicas de los *cilios*. Como el viaje hacia el útero dura de 3 a 4 días y el ovocito es viable hasta 24 horas después de la ovulación, el lugar donde se produce la fertilización suele ser en las trompas de Falopio. Para llegar al ovocito, el espermatozoide debe nadar hacia arriba a través de la vagina y del útero hasta alcanzar las trompas de Falopio. ¡Imagínate, nadar contra la corriente hacia abajo creada por los cilios es como nadar a contracorriente!

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El hecho de que las trompas de Falopio estén en contacto con los ovarios pone a las mujeres en el peligro de que las posibles infecciones se extiendan a la cavidad peritoneal desde el tracto reproductor. La **gonorrea** y otras bacterias de transmisión sexual a veces infectan la cavidad peritoneal de esta forma, causando una inflamación muy grave denominada **enfermedad pélvica inflamatoria (EPI).** A menos que se trate adecuadamente, la EPI puede causar cicatrices y el cierre de las estrechas trompas de Falopio, lo cual es una de las causas principales de infertilidad femenina. ▲

El útero

El **útero,** localizado en la pelvis entre la vejiga y el recto, es un órgano hueco que funciona para recibir, retener y alimentar un óvulo fertilizado. En una mujer que nunca haya estado embarazada, tiene la forma y tamaño de una pera. (Durante la gestación, el útero aumenta tremendamente de tamaño y puede sentirse con claridad por encima del ombligo en la última parte del embarazo.) El útero está suspendido en la pelvis por el ligamento ancho y anclado anterior y posteriormente por el **ligamento redondo** y el **uterosacro,** respectivamente (véase la Figura 16.8).

Nos referiremos a la parte principal del útero como el **cuerpo.** Su región superior y redondeada por encima de la entrada de las trompas de Falopio es el **fundus,** y su estrecha salida, que sobresale hacia abajo, hacia la vagina, es el **cérvix.**

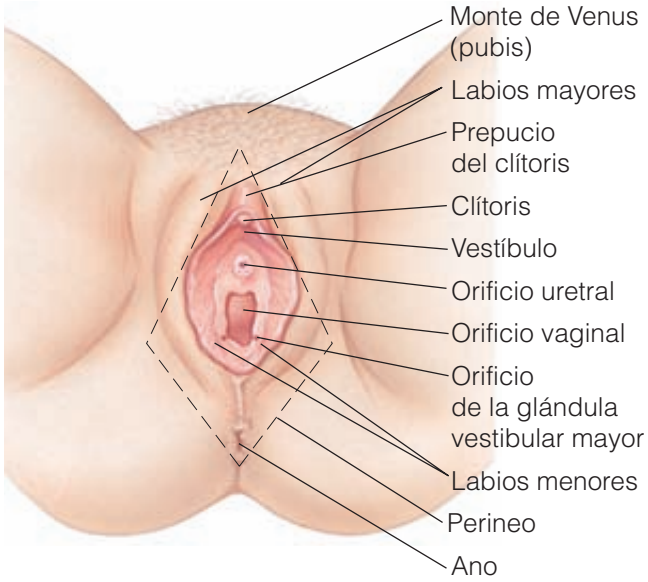


FIGURA 16.9 **Genitales externos femeninos.**

La pared del útero es gruesa y está compuesta por tres capas. La capa interior o mucosa es el **endometrio.** Si ocurre la fertilización, el óvulo fertilizado (realmente el joven embrión en el momento en el que llega al útero) se entierra en el endometrio (proceso llamado **implantación**) y se queda allí durante el resto de su desarrollo. Cuando una mujer no está embarazada, se desprende el recubrimiento endometrial de forma periódica, normalmente cada 28 días, en respuesta a cambios en los niveles de las hormonas ováricas en la sangre. De este proceso, llamado menstruación, se trata en las páginas 559-561.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El **cáncer de cérvix** es común en mujeres que tienen entre 30 y 50 años de edad. Entre los factores de riesgo se encuentran las inflamaciones cervicales frecuentes, las enfermedades de transmisión sexual, los embarazos múltiples y tener muchas parejas sexuales. El test anual de diagnóstico más importante es el frotis cérvico-vaginal, también llamado de Papanicolaou o citología, para detectar este tipo de cáncer de crecimiento lento. ▲

El **miometrio,** compuesto por manojos entrelazados de músculo liso, es la voluminosa capa mediana del útero (véase la Figura 16.8b). El miometrio juega un papel activo durante el parto, cuando se contrae rítmicamente para forzar al bebé fuera del cuerpo de la madre.

La capa más externa del útero es el seroso **perimetrio,** o peritoneo visceral.

Vagina

La **vagina** es un tubo de paredes finas de 8 a 10 cm de longitud. Se encuentra entre la vejiga y el recto y se extiende desde el cérvix hasta el exterior del cuerpo (véase la Figura 16.8). A menudo llamada el *canal del parto*, la vagina proporciona un conducto para el parto de los hijos y para que el flujo menstrual salga del organismo. Al recibir al pene (y al semen) durante el acto sexual, es también el órgano femenino de copulación.

El extremo distal de la vagina está parcialmente cerrado por un fino pliegue de la mucosa llamado **himen.** El himen está muy vascularizado y suele sangrar cuando se rompe durante el primer acto sexual. Sin embargo, su dureza varía. En algunas mujeres, se rompe durante la práctica de algún deporte, al introducir un tampón o en el curso de un examen pélvico. En ocasiones, es tan duro que debe romperse mediante cirugía si va a tener lugar un acto sexual.

Genitales externos

Las estructuras reproductoras femeninas localizadas en el exterior de la vagina son los **genitales externos** (Figura 16.9). Los genitales externos, también llamados colectivamente **vulva,** constan de: el *monte de Venus* o *pubis,* los *labios,* el *clítoris,* los *orificios uretral* y *vaginal* y el *orificio de la glándula vestibular mayor.*

El **monte de Venus o pubis** es una zona grasa y redondeada que cubre la sínfisis púbica. En la pubertad, esta área se cubre de vello púbico. Naciendo en la parte posterior del pubis hay dos pliegues de piel alargados cubiertos de vello, los **labios mayores,** que rodean a otros dos pliegues delicados y sin vello, los **labios menores.** Los labios mayores rodean una zona llamada **vestíbulo,** que contiene las aberturas externas de la uretra*, seguidas por la de la vagina. Un par de glándulas productoras de moco, las **glándulas vestibulares mayores,** flanquean la vagina, una a cada lado. Su secreción lubrica el extremo distal de la vagina durante el acto sexual.

Anterior al vestíbulo se encuentra el **clítoris,** una pequeña estructura protuberante que corresponde al pene masculino. Como el pene, está cubierto por un

*La uretra masculina transporta tanto orina como semen, pero la uretra femenina no tiene función reproductora, es estrictamente un conducto para la salida de orina.

prepucio y compuesto por tejido eréctil sensible que se hincha de sangre durante la excitación sexual. El clítoris se diferencia del pene en que carece de un conducto reproductor. La región con forma de diamante entre el extremo anterior de los pliegues labiales, el ano y las tuberosidades isquiáticas laterales es el **perineo.**

¿LO HAS ENTENDIDO?

11. ¿Cuál es el producto exocrino del ovario?
12. ¿Qué órgano del sistema femenino de conductos sirve de "incubadora" para el desarrollo fetal? ¿Dónde se suele producir la fertilización?
13. ¿Qué nombre se le da a un folículo ovárico que está listo o casi listo para ovular?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Funciones y ciclos reproductores femeninos

La ovogénesis y el ciclo ovárico

Como se ha descrito con anterioridad, la producción de esperma comienza en la pubertad y generalmente continúa a lo largo de toda la vida. En el caso de las mujeres, la situación es muy diferente. Tradicionalmente, se ha supuesto que la provisión total de óvulos que una mujer puede liberar ya está determinada en el momento de nacer. Además, la capacidad reproductora de una mujer (es decir, su capacidad para liberar óvulos) suele comenzar en la pubertad y termina cuando ronda los 50 años o antes. El periodo durante el que la capacidad reproductora femenina va disminuyendo de forma gradual y finalmente termina se denomina *menopausia* (véanse las páginas 576 y 578).

La meiosis, el tipo de división celular que tiene lugar en los testículos para producir espermatozoides, también ocurre en los ovarios. Pero, en este caso, se producen gametos o células sexuales y el proceso se llama **ovogénesis** ("inicio de un huevo"). En la Figura 16.10 se muestra este proceso, cuya explicación detallada vas a poder leer en las líneas que vienen a continuación.

En el feto femenino en desarrollo, las **ovogonias,** células precursoras femeninas, se multiplican rápidamente para aumentar su número y, después, sus células hijas, **los ovocitos primarios,** presionan en el tejido conectivo del ovario, donde les rodea una sola capa de células para formar los *folículos primarios*. En el momento del nacimiento ya no existe la ovogonia* y, para entonces, la recién nacida ya posee en sus folículos ováricos un suministro de ovocitos primarios (aproximadamente dos millones de ellos) para toda su vida, esperando la ocasión de sufrir una meiosis para producir óvulos funcionales. Como los ovocitos primarios se quedan en este estado de animación suspendida durante toda la infancia, su espera es larga, de 10 a 14 años como máximo.

En la pubertad, la glándula pituitaria anterior empieza a liberar *hormona folículo-estimulante (FSH)*, que estimula a un grupito de folículos primarios para que crezcan y maduren cada mes, con lo que la ovulación empieza a tener lugar mensualmente. Estos cambios cíclicos que ocurren cada mes en el ovario constituyen el **ciclo ovárico.** En la pubertad, tal vez quedan unos 250.000 ovocitos y, comenzando en esta etapa de la vida, un número reducido de ovocitos es activado cada mes. La vida reproductiva de una mujer, como mucho, dura unos 40 años (desde los 11 años hasta aproximadamente los 51), y suele haber una sola ovulación por mes; por tanto, menos de 500 óvulos de su potencial de 250.000 son liberados durante su vida. De nuevo constatamos que la naturaleza nos ha proporcionado un generoso suministro extra de células sexuales.

A medida que un folículo estimulado por la FSH crece, acumula líquido en la cámara central llamada *antro* (véase la Figura 16.7) y el ovocito primario que contiene replica sus cromosomas, dando comienzo la meiosis. La primera división meiótica produce dos células muy diferentes en tamaño (véase la Figura 16.10). La célula más grande es un **ovocito secundario** y la otra célula, minúscula, es un **cuerpo polar.** Una vez que un folículo ha crecido hasta la fase de madurez *(folículo vesicular)*, contiene un ovocito secundario y sobresale como un divieso de la superficie externa del ovario. El desarrollo folicular en esta fase tarda unos 14 días y tiene lugar la ovulación de un ovocito secundario en ese momento como respuesta a la liberación explosiva de otra hormona de la pituitaria anterior, la *hormona luteinizante (LH)*. Como muestran las Figuras 16.7, 16.10 y 16.11, el ovocito secundario ovulado aún está rodeado de su cápsula folicular, ahora denominada *corona radiada*. Algunas mujeres experimentan una punzada de dolor abdominal en el abdomen inferior cuando tiene lugar la ovulación. Este fe-

*Un estudio reciente en ratones indicó que las células precursoras germinales están vivas y que existen en las mujeres adultas. Sin embargo, son necesarios más estudios para revocar la teoría de "no óvulos nuevos".

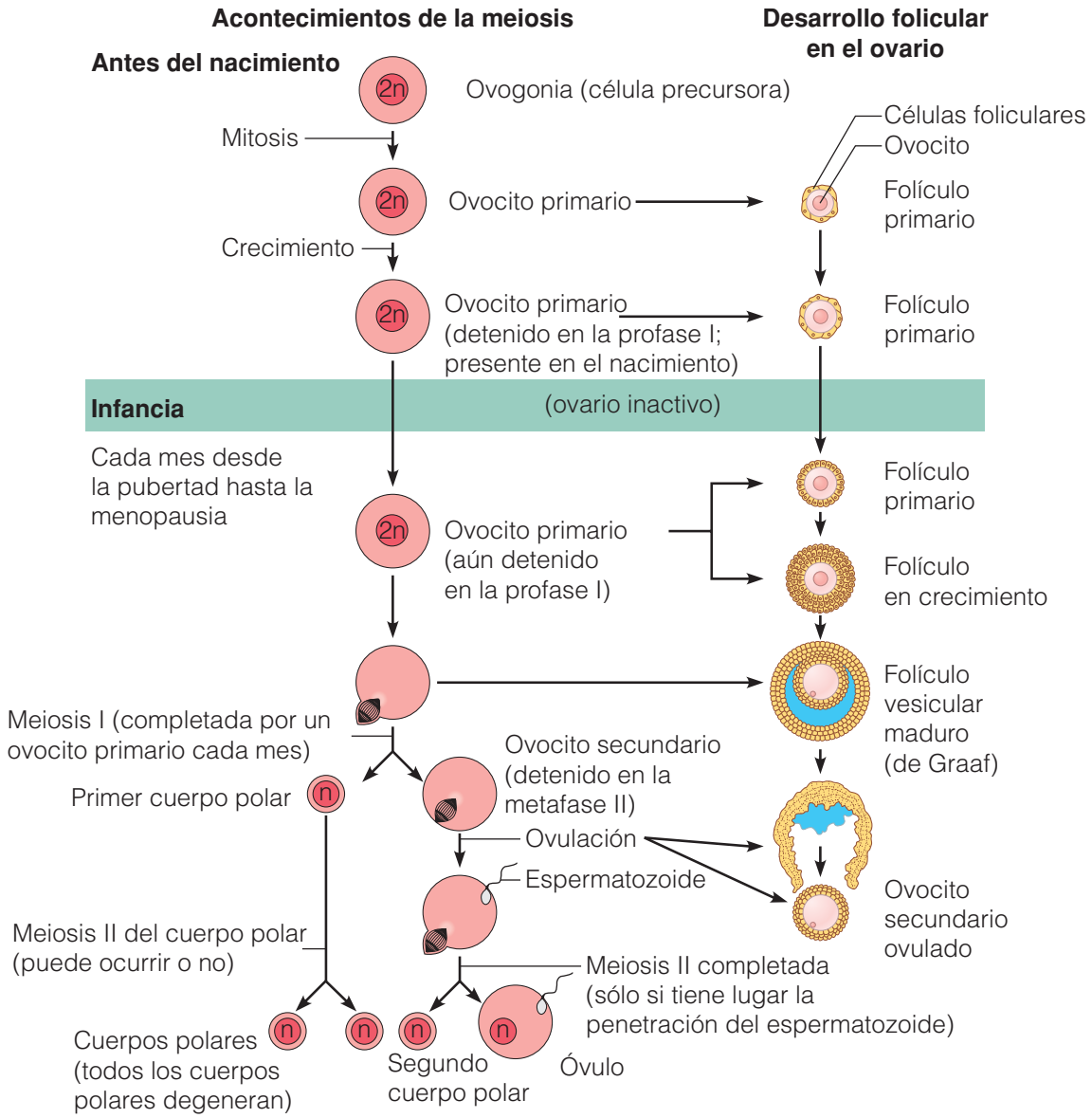


FIGURA 16.10 Acontecimientos que suceden durante la ovogénesis. A la izquierda, gráfico de flujo de los acontecimientos que tienen lugar durante la meiosis. A la derecha, correlación con el desarrollo folicular y la ovulación en el ovario.

nómeno, llamado *mitterlschmerz* (que en alemán significa "dolor medio"), está causado por el intenso estiramiento de la pared ovárica durante la ovulación.

En términos generales, uno de los folículos en desarrollo aventaja a los otros cada mes y se convierte en el folículo dominante. Cómo este folículo es seleccionado o se selecciona a sí mismo no es aún un proceso conocido, pero el folículo que está en la fase adecuada de maduración cuando ocurre la estimulación con hormona LH se rompe y libera su ovocito a la cavidad peritoneal. Los folículos maduros no ovulados pronto maduran demasiado y se deterioran. Además de desencadenar la ovulación, la LH también hace que el folículo roto pase a tener una estructura glandular muy diferente, el *cuerpo lúteo*. (Tanto los folículos que están madurando como el cuerpo lúteo producen hormonas, como se verá más adelante.)

Si un espermatozoide penetra en el ovocito secundario ovulado en una de las trompas de Falopio, el ovocito pasa por la segunda división meiótica que produce otro cuerpo polar y el **óvulo.** Una vez que éste se ha formado, sus 23 cromosomas se combinan con los del

espermatozoide para formar el óvulo fertilizado, que es la primera célula del nuevo ser en formación. Sin embargo, si no hay espermatozoide que penetre el ovocito secundario, simplemente se deteriora sin haber completado la meiosis para formar un óvulo funcional. Aunque la meiosis en los hombres da como resultado cuatro espermatozoides funcionales, la meiosis en las mujeres sólo produce un óvulo funcional y tres minúsculos cuerpos polares. Éstos, esencialmente, no tienen citoplasma, por lo que se deterioran y mueren con rapidez.

Otra gran diferencia entre hombres y mujeres se refiere al tamaño y estructura de sus células sexuales. Los espermatozoides son minúsculos y están equipados con colas para su locomoción. Tienen citoplasma que contiene nutrientes, pero en poca cantidad. Por eso, los nutrientes en el líquido seminal son vitales para su supervivencia. Por el contrario, el óvulo es una célula grande y sin motilidad, bien equipada con reservas de nutrientes que alimentan al embrión en desarrollo hasta que pueda alojarse en el útero.

¿LO HAS ENTENDIDO?

14. Además del gameto funcional (el óvulo), ¿qué otros tipos de células se producen durante la ovogénesis y qué les ocurre a ellas?
15. ¿Qué hormona de la pituitaria anterior estimula el desarrollo folicular en el ovario?
16. ¿Qué hormona de la pituitaria anterior causa la ovulación?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

El ciclo uterino (menstrual)

Aunque el útero es el receptáculo en el que se implanta y se desarrolla el joven embrión, sólo está receptivo para la implantación durante un corto periodo de tiempo cada mes. No es de extrañar que este breve intervalo coincida exactamente con el espacio de tiempo en el que un óvulo fertilizado empezaría a implantarse, aproximadamente siete días después de la ovulación. Los acontecimientos del **ciclo uterino** o **menstrual** son los cambios cíclicos por los que pasa el endometrio, o mucosa del útero, mes tras mes como respuesta a los cambios en los niveles de hormonas ováricas en la sangre.

La producción cíclica de estrógenos y de progesterona por parte de los ovarios está, a su vez, regulada por las hormonas gonadotrópicas de la pituitaria anterior, la FSH y la LH. Por tanto, es importante entender cómo estas "piezas del puzle hormonal" encajan entre sí. En términos generales, ambos ciclos femeninos tienen una duración de unos 28 días (periodo comúnmente llamado *mes lunar*). La ovulación suele ocurrir a mitad de estos ciclos, alrededor del día 14. La Figura 16.12 ilustra los acontecimientos que ocurren tanto en el ovario (ciclo ovárico) como en el útero (ciclo menstrual) a la vez. A continuación, se describen las tres fases del ciclo menstrual.

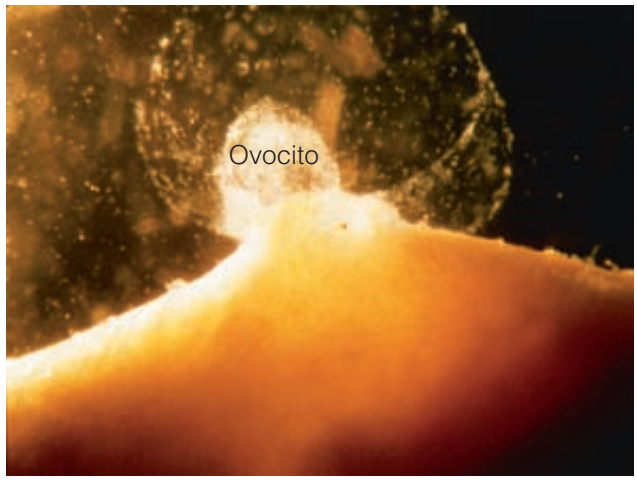
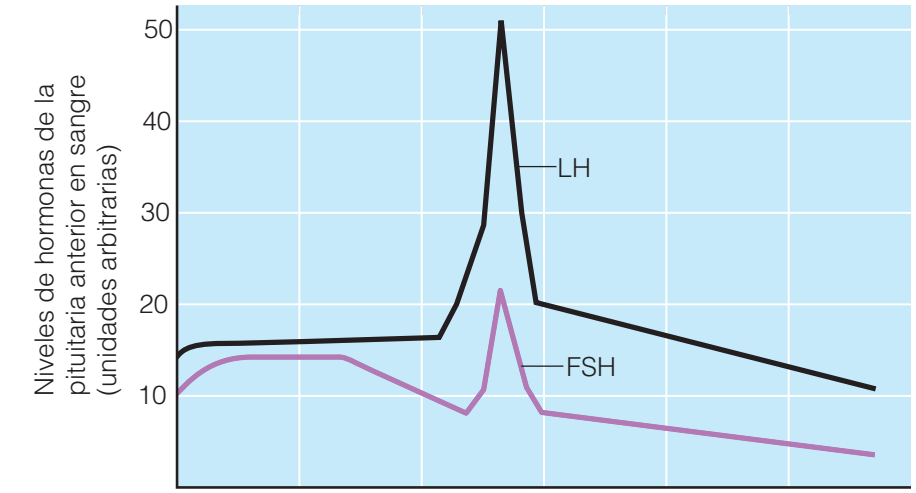
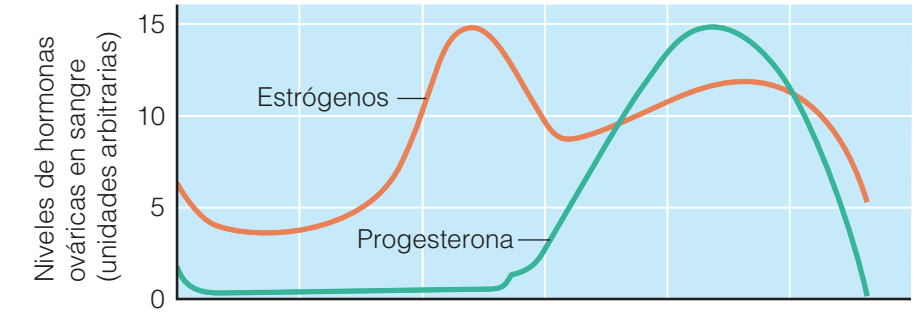


FIGURA 16.11 **Ovulación.** El folículo secundario libera un ovocito secundario en la superficie del ovario. La masa de color anaranjado debajo del ovocito expulsado es parte del ovario. El "halo" de células del folículo alrededor del ovocito secundario es la *corona radiada*.

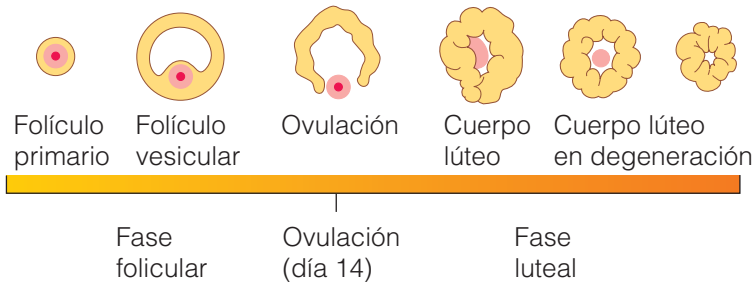
- **Días 1 al 5: fase menstrual.** En este intervalo, la *capa funcional* superficial del grueso recubrimiento endometrial del útero se está separando de la pared uterina. Este hecho va acompañado de sangrado durante 3 a 5 días. Los tejidos separados y la sangre pasan por la vagina constituyendo el flujo menstrual. La pérdida media de sangre durante estos días es de 50 a 150 ml (de 1/4 a 1/2 de taza). Cuando llega el día 5, los folículos ováricos empiezan a producir más estrógenos.
- **Días 6 al 14: fase proliferativa.** Estimulada por niveles de estrógenos en aumento producidos por los folículos en crecimiento de los ovarios, la capa basal del endometrio regenera la capa funcional, se forman glándulas en él y el suministro de sangre endometrial aumenta. El endometrio se vuelve aterciopelado, espeso y bien vascularizado de nuevo. (La ovulación ocurre en el ovario al final de esta fase, como respuesta al aumento repentino de hormona LH en la sangre).
- **Días 15 al 28: fase secretora.** Los niveles en aumento de progesterona producida por el cuerpo lúteo del ovario actúan sobre el endometrio lleno de estrógenos y aumentan su suministro de sangre aún más.



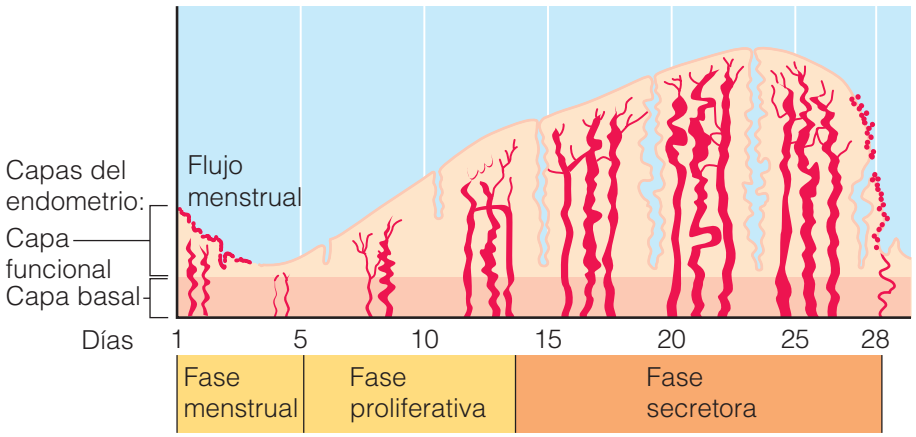
(a) Fluctuación de niveles de gonadotropina



(b) Fluctuación de niveles de hormonas ováricas



(c) Ciclo ovárico



(d) Ciclo uterino (menstrual)

FIGURA 16.12
Interacciones hormonales de los ciclos femeninos. Niveles relativos de las gonadotropinas de la pituitaria anterior correlacionadas con los cambios hormonales y foliculares del ovario y con el ciclo menstrual.

La progesterona también hace que las glándulas del endometrio aumenten de tamaño y empiecen a secretar nutrientes a la cavidad uterina. Estos nutrientes alimentarán al embrión en desarrollo (si lo hay) hasta que éste se haya implantado. Si hay fertilización, el embrión producirá una hormona muy similar a la LH que hace que el cuerpo lúteo siga produciendo sus hormonas. Si no hay fertilización, el cuerpo lúteo empieza a degenerar hacia el final de este periodo a medida que disminuyen los niveles de LH en sangre. La falta de hormonas ováricas en la sangre hace que los vasos sanguíneos que nutren la capa funcional del endometrio sufran espasmos y se retuerzan. Al ser desprovistas de oxígeno y nutrientes, esas células endometriales empiezan a morir, lo que hace que la menstruación comience de nuevo en el día 28.

Aunque esta explicación presupone un ciclo clásico de 28 días, la duración del ciclo menstrual es muy variable. Puede durar sólo 21 días o incluso 40. Sólo un intervalo es bastante constante en todas las mujeres; el tiempo que media desde la ovulación hasta el comienzo de la menstruación es casi siempre de 14 ó 15 días.

Producción de hormonas por parte de los ovarios

La producción de hormonas ováricas comienza cuando los ovarios se vuelven activos en la pubertad y empiezan a producir óvulos. Las células foliculares de los folículos maduros y de los que están en crecimiento producen **estrógenos*,** que causan la aparición de las *características sexuales secundarias* en la adolescente. Entre estos cambios se incluyen:

- Agrandamiento de los órganos accesorios del sistema reproductor femenino (trompas de Falopio, útero, vagina, genitales externos).
- Desarrollo de los pechos.
- Aparición de vello axilar y púbico.
- Aumento de los depósitos de grasa debajo de la piel en general y particularmente en las caderas y los pechos.
- Ensanchamiento de la pelvis.
- Comienzo de los menstruos o ciclos menstruales.

Aparte de aumentar las características sexuales secundarias, los estrógenos también tienen efectos metabólicos. Por ejemplo, ayudan a mantener bajos niveles de colesterol total en sangre (junto con altos niveles de HDL) y facilitan la absorción de calcio, lo cual mantiene la buena densidad de los huesos.

La segunda hormona ovárica, la **progesterona,** está producida por el *cuerpo lúteo* glandular (véase la Figura 16.7). Como se ha dicho antes, después de que tenga lugar la ovulación, el folículo roto se convierte en el cuerpo lúteo, que tiene un aspecto y una forma de actuar totalmente diferente al folículo maduro y al que está en crecimiento. Una vez formado, el cuerpo lúteo produce progesterona (y algo de estrógeno) mientras aún haya presencia de LH en la sangre. En general, el cuerpo lúteo deja de producir hormonas a los 10 ó 14 días después de la ovulación. Excepto por colaborar con los estrógenos para establecer el ciclo menstrual, la progesterona no contribuye a la aparición de las características sexuales secundarias. Sus otros efectos principales se notan durante la gestación, cuando ayuda a mantener el embarazo al inhibir la contracción del miometrio del útero y prepara los pechos para la producción de leche. (Sin embargo, la fuente de progesterona durante el embarazo es la placenta, no los ovarios).

Glándulas mamarias

Ambos sexos tienen **glándulas mamarias,** pero sólo suelen funcionar en las mujeres. Ya que su papel biológico es producir leche para alimentar al recién nacido, realmente sólo son importantes cuando se ha logrado la reproducción. La estimulación de las hormonas sexuales femeninas, especialmente de los estrógenos, hace que las glándulas mamarias femeninas aumenten de tamaño durante la pubertad.

En cuanto al desarrollo, las glándulas mamarias son *glándulas sudoríparas* modificadas que forman parte de la piel. Cada glándula mamaria está contenida dentro de un pecho redondeado cubierto de piel anterior a los músculos pectorales. Ligeramente por debajo del centro de cada pecho hay una zona pigmentada, la **areola,** que rodea una protuberancia central: el **pezón** (Figura 16.13).

A nivel interno, cada glándula mamaria consiste en de 15 a 25 *lóbulos* que se difunden alrededor del pezón. Los lóbulos están acolchados y separados unos de otros por tejido conectivo y grasa. Dentro de cada lóbulo hay cámaras más pequeñas llamadas *lobulillos,* que contienen grupos de **glándulas alveolares** que producen leche cuando la mujer está **lactando** (produciendo leche). Las glándulas alveolares de cada lobulillo hacen pasar la leche hacia los **conductos mamarios o galactóforos,** que se abren hacia el exterior del pezón.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El **cáncer de mama** es la segunda causa de mortalidad más común en las mujeres estadounidenses. Una de

*Aunque los ovarios producen varios estrógenos diferentes, los más importantes son el *estradiol,* el *estrona* y el *estriol.* De entre éstos, el estradiol es el más abundante y el que más influencia tiene cuando se trata de arbitrar los efectos de los estrógenos.

Las mujeres de pecho plano son perfectamente capaces de amamantar a sus bebés. Por tanto, no es el tejido glandular lo que compone la mayor parte del tejido del pecho. Entonces, ¿qué es?

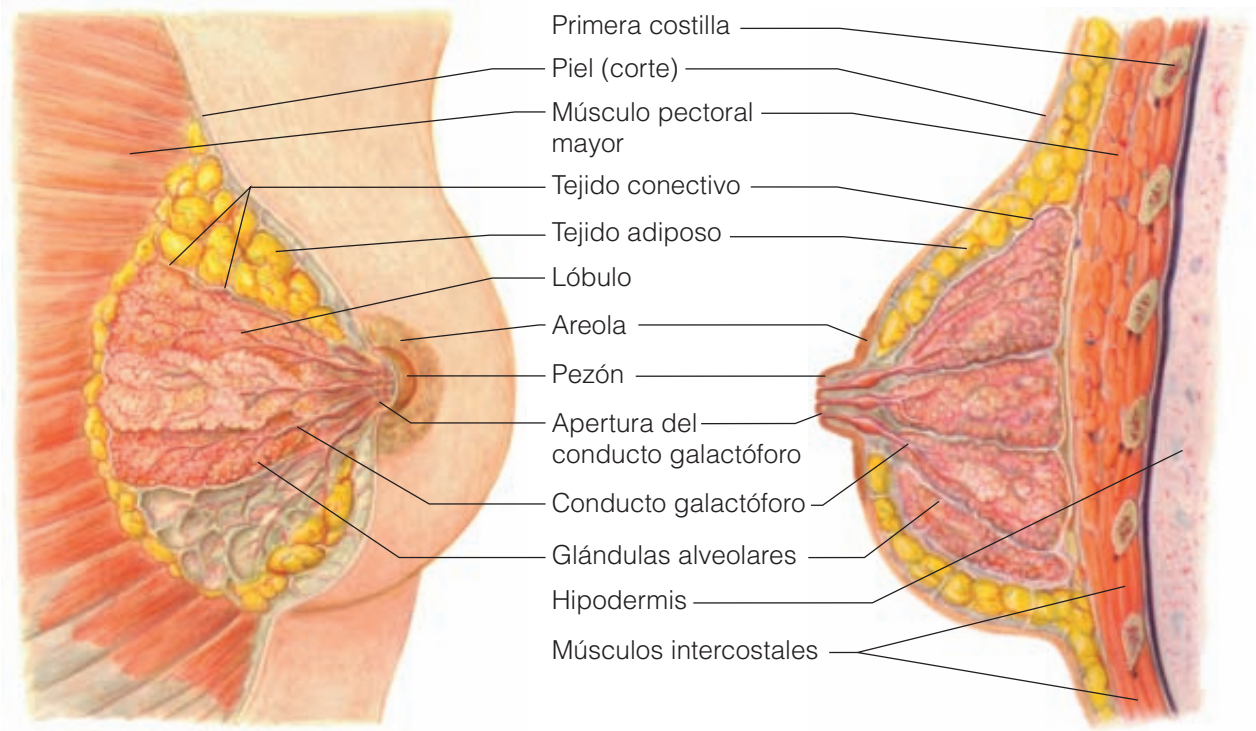


FIGURA 16.13 **Glándulas mamarias femeninas. (a)** Vista anterior. **(b)** Corte sagital.

cada ocho mujeres desarrollará esta enfermedad. Alrededor del 10% de cánceres de mama tiene su origen en defectos hereditarios, y a la mitad de ese 10% se le puede seguir el rastro hasta mutaciones peligrosas en un par de genes (BRCA1 y 2). El 80% de las mujeres que portan el gen alterado desarrolla cáncer de mama. Con la posible excepción de la historia familiar, la mayoría de los factores de riesgo reflejan una exposición muy prolongada a los estrógenos (menstruaciones tempranas, menopausia tardía, terapia de sustitución de estrógenos, etc.).

El cáncer de mama a menudo se señala por un cambio en la textura de la piel, fruncimiento o pérdidas de líquido por el pezón. Sin duda, el mejor modo de aumentar las posibilidades de supervivencia al cáncer de mama es una detección temprana mediante la mamografía y la autoexploración. Ésta última debería ser una prioridad en la vida de cada mujer debido a que la mayoría de los tumores mamarios son descubiertos por las propias mujeres durante sus exploraciones mensuales rutinarias. Actualmente, la *American Cancer Society* recomienda realizar una **mamografía** (exploración de rayos X que detecta los cánceres de mama tan pequeños que no se pueden notar al tacto, es decir, menores de 1 cm) bianual para las mujeres de entre 40 y 49 años y anual para las que tienen más edad (Figura 16.14). ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

17. ¿Qué hormona ovárica puede llamarse la hormona feminizante porque impulsa la formación de características sexuales secundarias?
18. ¿Qué ocurre durante la fase proliferativa del ciclo menstrual o uterino?
19. ¿Qué tres funciones importantes tiene la progesterona en las mujeres?
20. ¿Por qué las mutaciones de los genes BRCA causan problemas?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Tejido adiposo

FIGURA 16.14 **Mamogramas. (a)** Fotografía de una mujer haciéndose una mamografía. **(b)** Pecho normal. **(c)** Pecho con tumor.

Estudio sobre el embarazo y el desarrollo embrionario

Como el nacimiento de un bebé es un acontecimiento tan familiar, tendemos a olvidarnos de lo que significa la maravilla de este logro. Siempre comienza con una sola célula, el óvulo fertilizado, y termina con un ser humano de extrema complejidad compuesto por billones de células. El desarrollo de un embrión es muy complejo y los detalles de este proceso pueden llenar las páginas de un libro de buen tamaño. Nuestra intención aquí es simplemente resaltar los acontecimientos más importantes de la gestación y del desarrollo embrionario.

El logro de la fertilización

Antes de que pueda haber fertilización, un espermatozoide debe alcanzar el ovocito secundario ovulado. El ovocito es viable de 12 a 24 horas después de que sea expulsado del ovario y los espermatozoides suelen mantener su poder fertilizador dentro del tracto reproductor femenino durante 24 a 48 horas después de la eyaculación. Como consecuencia, para que la fertilización tenga lugar, el acto sexual debe realizarse no más de 2 días antes de la ovulación y no más de 24 horas después, momento en el que el ovocito está a aproximadamente un tercio de la longitud del camino hacia la trompa de Falopio. Recuerda que los espermatozoides son células móviles capaces de autopropulsarse mediante los latigazos de sus colas. Si los espermatozoides son depositados en la vagina de una mujer en los días que rondan la ovulación, serán atraídos hacia el ovocito por sustancias químicas que hacen de "dispositivos buscadores", facilitándoles localizar el ovocito. El espermatozoide tarda de 1 a 2 horas hasta que completa el viaje por el sistema femenino de conductos hasta las trompas de Falopio aun cuando haya sólo unos 12 cm por recorrer. Sin embargo, millones de espermatozoides se salen de la vagina y, de los que quedan, más millones son destruidos por el medio ácido de la vagina. Sólo de unos pocos cientos a unos pocos miles de espermatozoides llegan a las cercanías del óvulo.

Cuando el enjambre de espermatozoides llega al ovocito, su enzima hialuronidasa de la superficie celular deshace el "cemento" que mantiene unidas las células foliculares de la corona radiada alrededor del ovocito. Una vez que la vía está libre a través de la corona, miles de espermatozoides sufren la *reacción acrosómica* en la que las membranas acrosomales se degradan, liberando enzimas que digieren orificios en la membrana del ovocito. Entonces, cuando la membrana está suficientemente debilitada y un solo espermatozoide entra en contacto con los receptores de membrana del ovocito, la cabeza (núcleo) del espermatozoide entra dentro del citoplasma del ovocito. Ésta es una de las excepciones al refrán "a quien madruga, Dios le ayuda", porque es el espermatozoide que viene detrás de los cientos que han soportado las reacciones acrosómicas al

P *¿Por qué el blastocito (también llamado blastocisto o blástula) multicelular es sólo ligeramente mayor que el zigoto unicelular?*

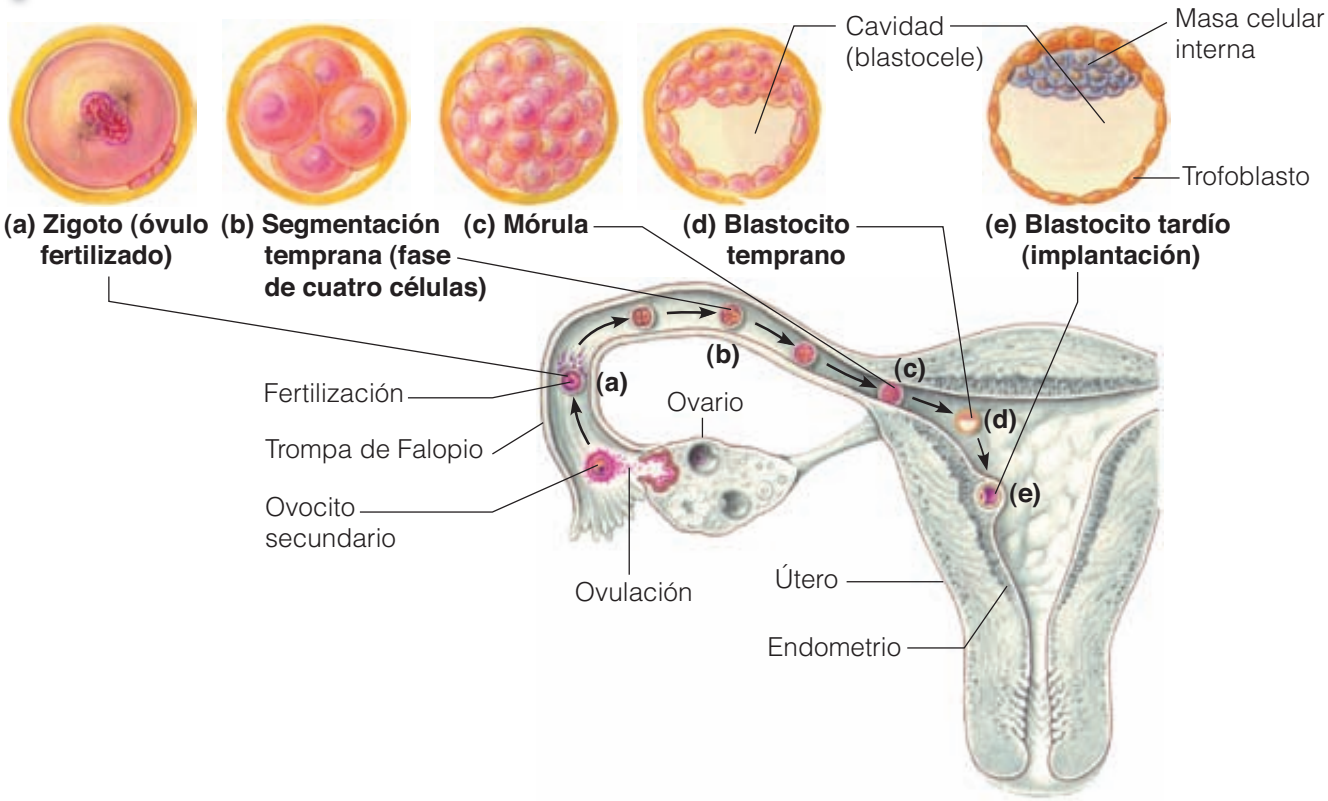


FIGURA 16.15 La llamada segmentación es, en realidad, una serie rápida de divisiones mitóticas que comienza con el zigoto y finaliza con el blastocito. El zigoto se empieza a dividir alrededor de 24 horas después de la fertilización y continúa dividiéndose rápidamente (pasa por la segmentación) a la vez que viaja por la trompa de Falopio hacia el útero, a donde llega de tres a cuatro días después de la ovulación. Una vez allí, el preembrión flota libremente durante dos o tres días, alimentado por secreciones de las glándulas endometriales. En la fase de blastocito tardío, el embrión se implanta en el endometrio, hecho que comienza alrededor del día siete después de la ovulación. **(a)** Zigoto (óvulo fertilizado). **(b)** Fase de cuatro células. **(c)** Mórula, una sólida pelota de blastómeros. **(d)** Blastocito o blastocisto temprano; la mórula se ahueca y se llena de líquido. **(e)** Blastocito o blastocisto tardío, compuesto por una envoltura de blastómeros externos, o trofoblastos, y un grupo de células internas o blastómeros internos que constituyen la masa celular interna o embrioblasto.

exponerse a la membrana del ovocito, el que se encuentra en la mejor posición para convertirse en *el* espermatozoide fertilizador. Una vez que un solo espermatozoide ha penetrado en el ovocito, el núcleo de este último completa la segunda división meiótica, formando el óvulo y un cuerpo polar.

Tras entrar el espermatozoide, ocurren cambios en el óvulo fertilizado para evitar que otro se cuele dentro. De los millones de espermatozoides eyaculados sólo *uno* puede penetrar un ovocito. La **fertilización** ocurre en el momento en que el material genético de un espermatozoide se combina con el de un óvulo para for-

R *Porque, a medida que el zigoto y sus descendientes se dividen, apenas les queda tiempo para crecer entre los ciclos de división subsiguientes. Como resultado, las células son cada vez más pequeñas y el tamaño de la masa celular se mantiene aproximadamente igual al del zigoto inicial.*

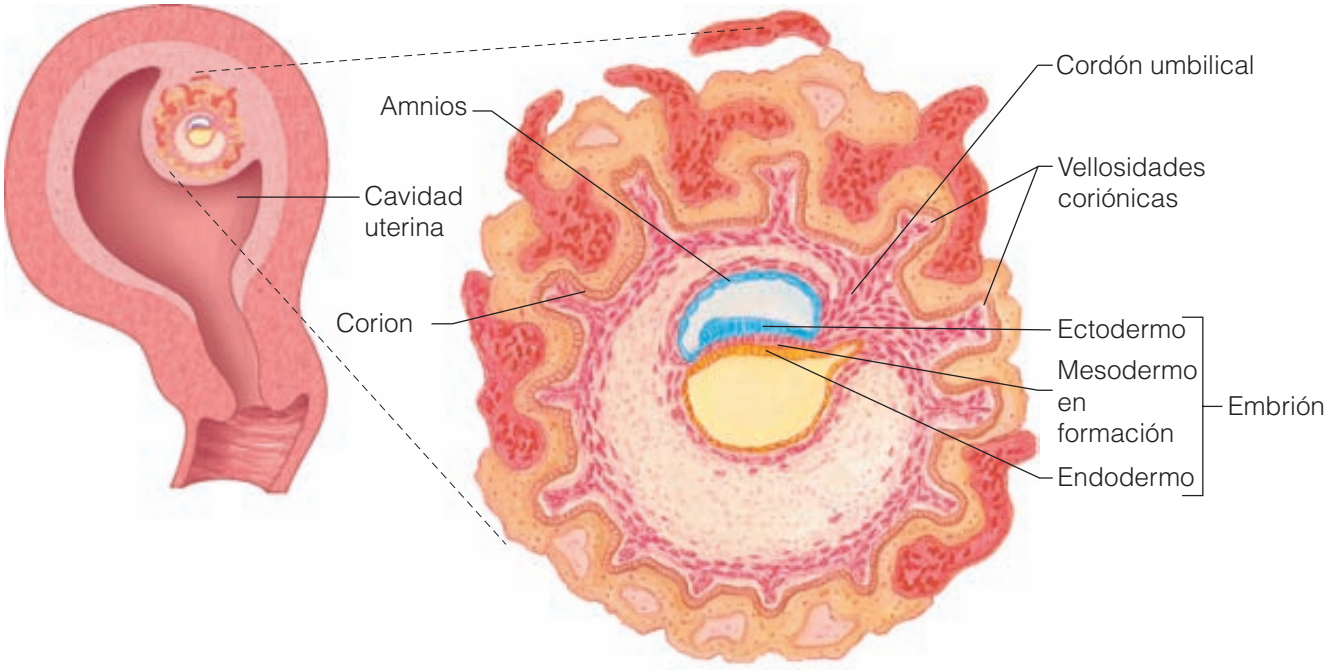


FIGURA 16.16 Embrión de aproximadamente 18 días. Están presentes las membranas embrionarias.

mar el óvulo fertilizado o **zigoto.** El zigoto representa la primera célula del nuevo individuo.

Hechos del desarrollo embrionario y fetal

Cuando el zigoto viaja por la trompa de Falopio (propulsado por peristalsis y cilios), empieza a sufrir rápidas divisiones celulares mitóticas, formando primero dos células, luego cuatro, etc. Esta fase temprana del desarrollo embrionario, llamada **segmentación,** se muestra en la Figura 16.15. Como no hay mucho tiempo para dedicarlo al crecimiento de las células entre divisiones, las células hijas cada vez son más y más pequeñas. La segmentación proporciona un gran número de células para que sirvan como componentes básicos para la "construcción" del **embrión** (fase de desarrollo hasta la novena semana). Considera por un momento lo difícil que sería construir un edificio a partir de un enorme bloque de granito. Y si ahora piensas con qué facilidad realizarías esta tarea si pudieras utilizar cientos de bloques de granito del tamaño de un ladrillo, te darás cuenta de la importancia de la segmentación. Para cuando el embrión en desarrollo llega al útero (unos tres días después de la ovulación, o en el día 17 del ciclo de la mujer) es una *mórula*, una pelotita microscópica de 16 células. En este punto, el endometrio uterino aún no está preparado para recibir al embrión, de modo que éste flota en la cavidad uterina, utilizando temporalmente las secreciones uterinas para su sustento. Mientras sigue sin adherirse, el embrión continúa desarrollándose hasta que tiene unas 100 células, y es entonces cuando se ahueca para formar una estructura parecida a una pelota llamada **blastocito** o **vesícula coriónica.** Al mismo tiempo, secreta una hormona parecida a la LH llamada **gonadotropina coriónica humana (GCH),** que estimula el cuerpo lúteo del ovario para que continúe produciendo sus hormonas. (Si no fuera así, la capa funcional del endometrio pronto se separaría en la menstruación). Es precisamente la presencia de la GCH lo que muchos tests de embarazo detectan en la orina de una mujer.

El blastocito tiene dos áreas funcionales importantes: el **trofoblasto,** que forma la gran esfera llena de líquido, y **la masa celular interna** (o embrioblasto), un grupito de células desplazado hacia un lado (véase la Figura 16.15e). Rondando el día siete después de la ovulación, el blastocito se ha adherido al endometrio y ha erosionado el recubrimiento de una zona pequeña, alojándose en la espesa mucosa aterciopelada. Todo esto ocurre a la vez que el desarrollo continúa y las tres capas germinales primarias se van formando a partir de la masa celular interna (Figura 16.16). Las tres *capas germinales primarias* son el **ectodermo** (que da lugar

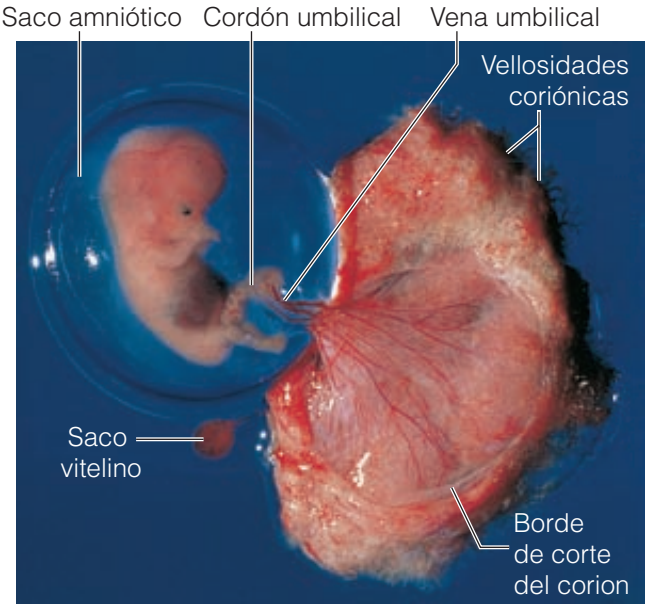


FIGURA 16.17 Embrión de 7 semanas.
Un embrión de 7 semanas, dentro de su saco amniótico y las vellosidades coriónicas (a la derecha) que, junto con los tejidos uterinos de la madre, formarán la placenta.

al sistema nervioso y a la epidermis de la piel), el **endodermo** (que forma las mucosas y las glándulas asociadas) y el **mesodermo** (que, virtualmente, da lugar a todo lo demás). La implantación se suele haber completado y la mucosa uterina ha crecido por encima del embrión, creándole una madriguera alrededor del día 14 después de la ovulación (el día que la mujer estaría esperando empezar la menstruación en condiciones normales). Después de estar implantado en condiciones seguras, la parte del trofoblasto del blastocito desarrolla proyecciones elaboradas, llamadas **vellosidades coriónicas,** que se combinan con los tejidos del útero materno para formar la **placenta** (Figura 16.17). Una vez que la placenta se ha formado, el cuerpo embrionario, casi plano y ahora rodeado de un saco lleno de líquido llamado **amnios,** se une a la placenta mediante un cordón de tejido que contiene vasos sanguíneos, el **cordón umbilical** (Figuras 16.16 y 16.17). (Las características especiales de los vasos sanguíneos umbilicales y de la circulación fetal se tratan en el Capítulo 11). En general, hacia la tercera semana la placenta está funcionando para suministrar nutrientes y oxígeno a la sangre embrionaria y eliminar sus residuos. Todos los intercambios se realizan a través de la barrera placentaria. Hacia el final del segundo mes de gestación, la placenta también se ha convertido en un órgano endocrino y está produciendo estrógenos, progesterona y otras hormonas que ayudan a mantener el embarazo. En este periodo, el cuerpo lúteo del ovario se vuelve inactivo.

Hacia la octava semana de desarrollo embrionario, todo el trabajo básico se ha terminado. Todos los sistemas de órganos se han determinado y el embrión ya tiene un aspecto humano. Comenzando la novena semana de desarrollo, el embrión ya recibe el nombre de **feto.** A partir de este punto, las actividades principales son el crecimiento y la especialización de órganos, acompañados de cambios en las proporciones del cuerpo. Durante el periodo fetal, el feto en desarrollo crece desde una longitud de 3 cm de la cabeza al trasero y un peso de aproximadamente 1 g hasta alrededor de 36 cm y entre 2,7 y 4,1 kg o más. (La longitud total al nacer es de unos 55 cm). Con un crecimiento tan grande, los cambios en la apariencia fetal son bastante notorios (Figura 16.18). Los cambios más significativos se resumen en la Tabla 16.1. Aproximadamente a los 270 días después de la fertilización (al final del décimo mes lunar) se dice que el feto ha llegado "a término" y que está listo para nacer.

Efectos de la gestación en la madre

La **gestación** o embarazo (el periodo desde la concepción hasta el nacimiento de su bebé) puede ser difícil para la madre. No sólo están los cambios anatómicos evidentes, sino que también hay cambios significativos en su fisiología.

Cambios anatómicos

La capacidad del útero de agrandarse durante la gestación es impresionante. Siendo un órgano del tamaño de un puño al principio, crece hasta ocupar la mayor parte de la cavidad pélvica a las 16 semanas. A medida que continúa el embarazo, el útero empuja cada vez más hacia arriba a la cavidad abdominal. Cuando se aproxima el parto, el útero llega a nivel del xifoides (pequeña extensión cartilaginosa en la parte inferior del esternón) y ocupa la mayor parte de la cavidad abdominal. Los órganos abdominales, ahora apiñados, hacen presión en la parte superior contra el diafragma, que se mete en la cavidad torácica. Como resultado, las costillas se desplazan, haciendo que el tórax se ensanche.

El incremento en el volumen del abdomen cambia el centro de gravedad de la mujer, y muchas de ellas desarrollan una curvatura lumbar acentuada (lordosis), a menudo acompañada de dolores de espalda durante los últimos meses de la gestación. La producción, por parte de la placenta, de la hormona **relaxina,** hace que los ligamentos pélvicos y la sínfisis púbica se relajen, se ensanchen y se vuelvan más flexibles. Esta motilidad aumentada facilita el paso del feto durante el parto, pero también puede causar un modo de andar de lado a lado (que recuerda al de los patos) durante el embarazo.

(a)

(b)

FIGURA 16.18 Fotografías de un feto en desarrollo. (a) Feto en el tercer mes, mide alrededor de 6 cm. **(b)** Feto a finales del quinto mes, mide unos 19 cm de longitud.

Obviamente, es indispensable una buena nutrición materna a lo largo de todo el embarazo si el feto en desarrollo obtiene todos los materiales de construcción (proteínas, calcio, hierro y similares) que necesita para formar sus tejidos y órganos. El viejo dicho popular de que "una mujer embarazada debe comer por dos" ha propiciado que muchas mujeres coman *el doble* de la cantidad de comida realmente necesaria durante la gestación que, por supuesto, ocasiona una ganancia excesiva de peso. De hecho, una embarazada sólo necesita alrededor de 300 calorías adicionales diarias para mantener un crecimiento fetal adecuado. El énfasis debería ponerse en alimentos de buena calidad, no simplemente en más alimentos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

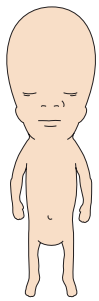
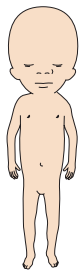
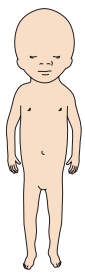
Muchas sustancias potencialmente dañinas pueden cruzar la barrera placentaria y penetrar en la sangre fetal; por tanto, la mujer gestante debería tener mucho más cuidado con lo que está introduciendo en su cuerpo. Entre las sustancias que pueden causar defectos de nacimiento que pueden poner en peligro la vida del feto (e incluso su muerte) se encuentran el alcohol, la nicotina y muchos tipos de fármacos (anticoagulantes, antihipertensivos, sedativos y algunos antibióticos). Algunas infecciones maternas, en particular la rubeola, también pueden causar daños fetales graves. La terminación de un embarazo debida a pérdida del feto durante las primeras 20 semanas de embarazo recibe el nombre de **aborto.** ▲

Cambios fisiológicos

Sistema gastrointestinal Muchas mujeres sufren náuseas, también llamadas *náuseas matutinas,* durante los primeros meses de gestación, hasta que su sistema se ajusta a los elevados niveles de progesterona y estrógenos. El *ardor de estómago* es común porque el esófago está desplazado y el estómago está siendo presionado por el útero en crecimiento, lo que favorece el reflujo del ácido estomacal hacia el esófago. Otro problema es el estreñimiento, porque la motilidad del tracto digestivo se reduce durante el embarazo.

Sistema urinario Los riñones llevan la carga adicional de tener que eliminar los residuos metabólicos fetales y, por tanto, producen más orina durante la gestación. Como el útero comprime la vejiga, la mujer debe orinar con más frecuencia, más urgencia y a veces de manera incontrolable. (En este último caso, padece la llamada *incontinencia de estrés* o *de esfuerzo*).

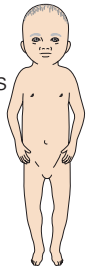
TABLA 16.1 Desarrollo del feto humano

Tiempo	Cambios/logros
8 semanas (al final del periodo embrionario)	Cabeza casi tan grande como el cuerpo; todas las regiones cerebrales principales están presentes
	Hígado desproporcionadamente grande; empieza a formar células sanguíneas
	Miembros presentes; aunque al principio estaban palmeados, los dedos de las manos y de los pies ya están libres al final de este intervalo
	Ha empezado la formación de los huesos
	El corazón ha estado bombeando sangre desde la cuarta semana
8 semanas	Todos los sistemas del organismo están presentes al menos de forma rudimentaria
	Longitud aproximada de la cabeza hasta el trasero: 30 mm (3 cm); peso: 1 gramo
9-12 semanas (tercer mes)	La cabeza sigue predominando, pero el cuerpo se va alargando; el cerebro continúa agrandándose
	Aparecen rasgos faciales de manera burda
	Las paredes de los órganos viscerales huecos van ganando músculo liso
	Comienza la formación de células sanguíneas en la médula ósea
12 semanas	Se acelera la formación de los huesos
	Ya se puede detectar el sexo en los genitales
	Longitud aproximada de la cabeza hasta el trasero al final del intervalo: 90 mm (9 cm)
13-16 semanas (cuarto mes)	Los órganos sensoriales generales están presentes; los ojos y las orejas adoptan su característica posición y forma; hay parpadeo de los ojos y movimiento de succión de los labios
	La cara tiene aspecto humano y el cuerpo empieza a ser más grande que la cabeza
	Los riñones alcanzan su estructura típica
16 semanas	Se distinguen la mayoría de los huesos y aparecen las cavidades de las articulaciones
	Longitud aproximada de la cabeza hasta el trasero al final del intervalo: 140 mm (14 cm)

Sistema respiratorio La mucosa nasal responde a los estrógenos hinchándose y congestionándose; así, puede haber una mala respiración nasal y sangrados de nariz ocasionales. La capacidad vital y el ritmo respiratorio aumentan durante el embarazo, pero el volumen residual disminuye, y muchas mujeres muestran *disnea* (dificultad para respirar) durante las últimas fases de la gestación.

Sistema cardiovascular Tal vez los cambios fisiológicos más grandes ocurren en el sistema cardiovascular. El volumen total de agua en el organismo aumenta y el de sangre se incrementa de un 25% a un 40% para satisfacer las necesidades adicionales del feto. El aumento del volumen de sangre también actúa como salvaguarda contra las pérdidas de sangre durante el parto. La presión sanguínea y el pulso se incrementan, subiendo el número de latidos de un 20% a un 40%; esto ayuda a propulsar el mayor volumen de sangre por el cuerpo. Como el útero presiona los vasos sanguíneos pélvicos, puede perjudicar el retorno venoso de los miembros inferiores, dando varices como resultado.

TABLA 16.1 *(continuación)*

Tiempo	Cambios/logros
17-20 semanas (el quinto mes)	La vérnix caseosa (secreciones grasas de las glándulas sebáceas) cubre el cuerpo; un vello sedoso (lanugo) cubre la piel
	El feto adopta la típica posición fetal (con el cuerpo flexionado por su parte anterior) debido a las restricciones de espacio
	Los miembros alcanzan proporciones parecidas a las definitivas al nacer
	El feto da patadas (la madre siente la actividad muscular espontánea del feto)
21-30 semanas (meses sexto y séptimo)	Longitud aproximada de la cabeza hasta el trasero al final del intervalo: 190 mm (19 cm)
	Aumento significativo en el peso (puede sobrevivir si nace prematuramente a las 27-28 semanas, pero el hipotálamo es aún demasiado inmaduro para regular la temperatura del organismo y la producción de agentes tensioactivos por parte de los pulmones todavía es inadecuada)
	Comienza la formación de la cubierta de mielina en la médula espinal; los ojos están abiertos
	La piel está arrugada y roja. Ya se aprecian las uñas de los dedos de las manos y de los pies
	El cuerpo está delgado y bien proporcionado
	La médula espinal se convierte en el único punto de formación de células sanguíneas
	Los testículos entran en el escroto en el séptimo mes (en varones)
En el parto 30-40 semanas (término) (meses octavo y noveno) 	Longitud aproximada de la cabeza hasta el trasero al final del intervalo: 280 mm (28 cm)
	La piel presenta una coloración rosado-blanquecina; la grasa se ha fijado en el tejido subcutáneo
	Longitud aproximada de la cabeza hasta el trasero al final del intervalo: 350-400 mm (35-40 cm). Peso aproximado: 2,7-4,1 kg.

El nacimiento

El nacimiento, también llamado **alumbramiento,** es la culminación del embarazo. Suele tener lugar dentro de los 15 días de la fecha calculada para salir de cuentas (que es de 280 días desde el último periodo menstrual). La serie de acontecimientos que expulsan al bebé del útero se denomina colectivamente **parto.**

Inicio del parto

Varios acontecimientos se entrelazan para desencadenar el parto. Durante las últimas semanas de gestación, los estrógenos alcanzan su nivel máximo en la sangre de la madre. Esto tiene dos consecuencias importantes: hace que el miometrio forme abundantes receptores de *oxitocina* (de modo que se vuelve más sensible a esta hormona) e interfiere en la influencia relajante de la progesterona sobre el músculo uterino. Como resultado, se empiezan a dejar sentir unas contracciones uterinas débiles e irregulares. Estas contracciones, llamadas *contracciones de Braxton Hicks,* han hecho que muchas mujeres vayan al hospital sólo para oír al llegar que estaban en el **falso parto** y ser enviadas de vuelta a casa.

A medida que se aproxima el alumbramiento, hay dos signos químicos más que colaboran para convertir estos falsos dolores de parto en los verdaderos. Algunas células del feto comienzan a producir oxitocina que, a su vez, estimula la placenta para que libere *prostaglandinas.*

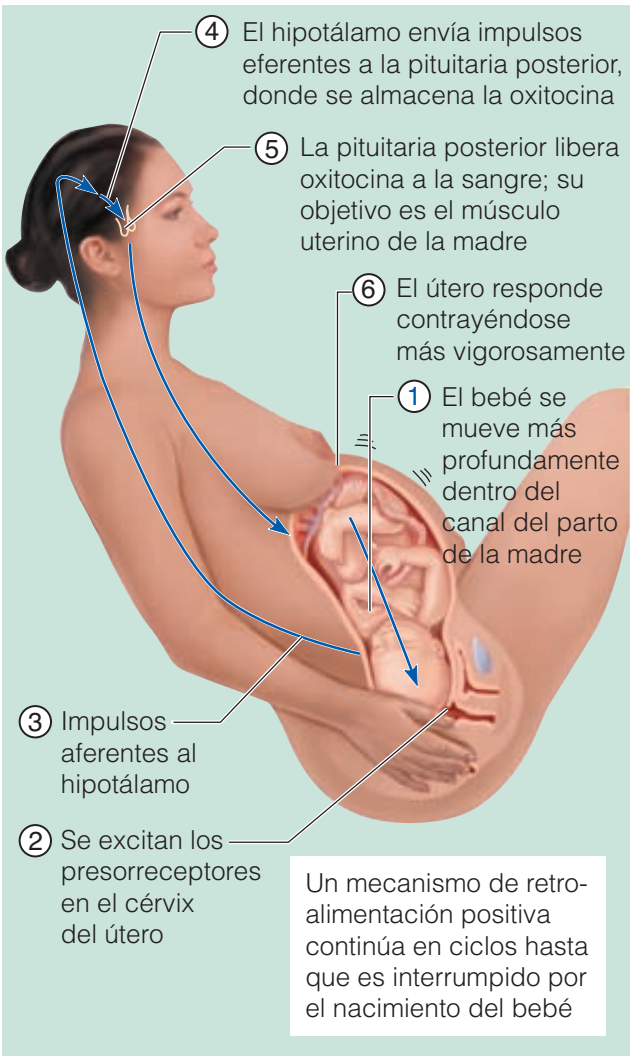


FIGURA 16.19 Mecanismo de retroalimentación positiva por el que la oxitocina impulsa las contracciones del parto durante el alumbramiento.

Ambas hormonas estimulan contracciones uterinas más frecuentes e intensas. En este punto, las tensiones emocionales y físicas en aumento activan el hipotálamo de la madre, que indica a la pituitaria posterior que debe liberar oxitocina. Los efectos combinados del aumento en los niveles de oxitocina y prostaglandinas inician las contracciones rítmicas y de expulsión típicas del verdadero parto.

Una vez que el hipotálamo está implicado, se pone en marcha un mecanismo de retroalimentación positiva: las cada vez más fuertes contracciones producen la liberación de más oxitocina, lo que causa contracciones aún más vigorosas, forzando al bebé a meterse cada vez más profundamente dentro de la pelvis de la madre, etc. (Figura 16.19).

Como tanto la oxitocina como las prostaglandinas son necesarias para iniciar el parto en los seres humanos, cualquier cosa que interfiera en la producción de alguna de estas hormonas impedirá el comienzo del parto. Por ejemplo, los fármacos con antiprostaglandina, como la aspirina y el ibuprofeno, pueden impedir el parto en sus primeras fases y tales medicamentos se utilizan a veces para evitar partos prematuros.

Fases del parto

El proceso del parto se suele dividir en tres fases (Figura 16.20). Estas fases se describen a continuación.

Fase 1: fase de dilatación La **fase de dilatación** es el lapso de tiempo desde la aparición de las contracciones verdaderas hasta que el cérvix está totalmente dilatado por la cabeza del bebé (unos 10 cm de diámetro). Cuando comienza el parto, empiezan a sentirse contracciones uterinas débiles pero regulares en la parte superior del útero y se mueven hacia abajo en dirección a la vagina. De forma gradual, las contracciones se vuelven más vigorosas y rápidas y, a medida que la cabeza del bebé es forzada contra el cérvix con cada contracción, éste empieza a suavizarse, se vuelve más fino *(desaparece)* y se dilata. Finalmente, el amnios se rompe, liberando el líquido amniótico, un hecho conocido como "romper aguas". La fase de dilatación es la parte más larga del parto y suele durar de 6 a 12 horas o más.

Fase 2: fase de expulsión La **fase de expulsión** es el periodo que va desde la dilatación completa hasta el alumbramiento. En esta fase, el bebé pasa por el cérvix y la vagina hasta el exterior del cuerpo. Durante esta fase una madre que esté dando a luz por medios naturales (sin anestesia local) tiene una necesidad urgente de empujar o de contraer los músculos abdominales. Aunque esta fase puede durar hasta 2 horas, 50 minutos suele ser lo normal en el caso de madres primerizas y unos 20 minutos en el caso de los partos subsiguientes.

Cuando el niño está en su posición habitual con la cabeza hacia abajo *(en vértice),* el cráneo (su diámetro más largo) hace de cuña para dilatar el cérvix. La presentación con la cabeza primero también permite al bebé ser succionado sin moco y respirar aun antes de haber completado su salida del canal del parto. Una vez que la cabeza ha salido, el resto del cuerpo sale con mayor facilidad. Tras el nacimiento, el cordón umbilical se sujeta con fuerza y se corta. En las presentaciones *de nalgas* (con el trasero primero) y en otras que no son en vértice, la salida es mucho más difícil, a veces necesitando de la ayuda de un fórceps.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Durante una fase 2 extremadamente prolongada o difícil, puede aparecer una complicación denominada

distocia. Cuando se presenta la distocia, el bebé no recibe suficiente aporte de oxígeno, lo cual ocasiona daño cerebral fetal (que da como resultado parálisis cerebral o epilepsia) y una viabilidad disminuida del bebé. Para evitar esto, debe practicarse una **cesárea,** mediante la que se saca al bebé practicando una incisión quirúrgica a través de las paredes abdominal y uterina. ▲

Fase 3: fase de alumbramiento La **fase de alumbramiento,** o la expulsión de la placenta, se suele realizar en los 15 minutos después del nacimiento del bebé. Las fuertes contracciones uterinas que continúan después del parto comprimen los vasos sanguíneos del útero, limitan el sangrado y hacen que la placenta se separe de la pared uterina. La placenta y las membranas fetales a ella adosadas, llamadas colectivamente las **secundinas,** se eliminan con facilidad en ese momento con un ligero tirón del cordón umbilical. Es muy importante quitar todo vestigio de la placenta para evitar sangrados uterinos continuados después del parto *(sangrado postparto).*

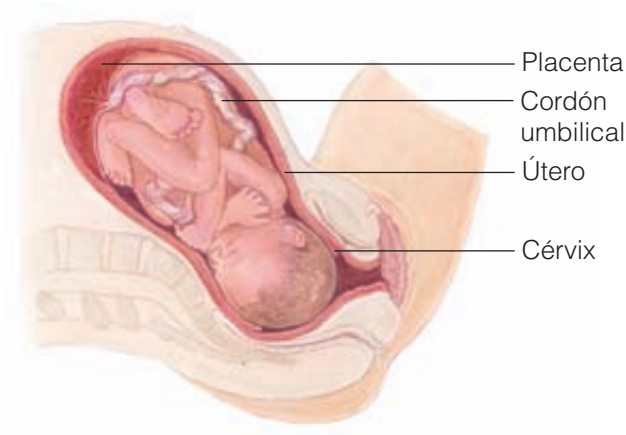
¿LO HAS ENTENDIDO?

21. ¿En qué se diferencia la segmentación de las divisiones celulares que tienen lugar a lo largo de la vida después del nacimiento?
22. ¿Cuáles son los tres papeles que desempeña la placenta?
23. Explica cómo el embarazo afecta los procesos digestivo y respiratorio de una mujer.
24. ¿Cuáles son las tres fases del parto?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

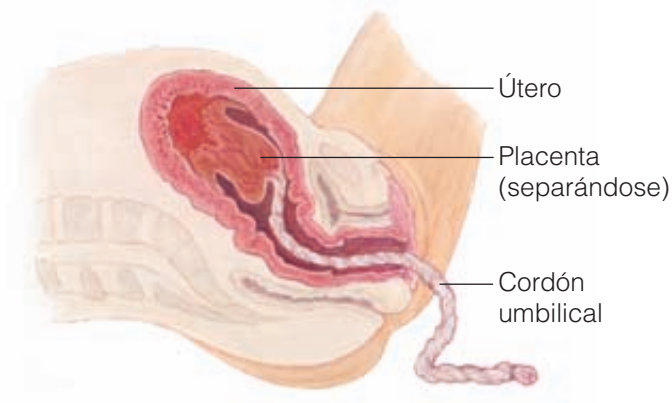
Formación y desarrollo del sistema reproductor

Aunque el sexo de una persona se determina en el momento de la fertilización (los hombres tienen cromosomas sexuales X e Y y las hembras tienen dos cromosomas sexuales X), las gónadas no empiezan a formarse hasta alrededor de la octava semana de desarrollo embrionario. Antes de esto, las estructuras reproductoras embrionarias de varones y mujeres son idénticas y se dice que están en la *fase indiferenciada.* Después de que se formen las gónadas, comienza el desarrollo de las estructuras accesorias y de los genitales externos. El que se vayan a formar estructuras masculinas o femeninas depende enteramente de si la testosterona está presente o ausente. Lo normal es que, una vez formados, los testículos embrionarios produz-



① **Dilatación del cérvix**

② **Expulsión: salida del bebé**



③ **Alumbramiento: salida de la placenta**

FIGURA 16.20 **Las tres fases del parto.**

orientación PROFESIONAL

DOULA (MONITORA DEL PARTO)

Las clases de anatomía y fisiología son esenciales en la formación de las doulas o profesionales del apoyo al parto.

"¿Por qué quiero ser doula? Porque sé lo mucho que una me podría haber ayudado cuando di a luz," afirma Sara García. "Tuve un parto largo que afectó a la respiración y al ritmo cardiaco de mi bebé, así que mi comadrona tuvo que centrar todos sus esfuerzos en ayudarle. Al final se puso bien, pero fue un rato muy angustioso. Me hizo apreciar la importancia del apoyo emocional durante el parto y el alumbramiento". De hecho, según las doulas de

Estados Unidos (DONA es el nombre de su asociación), las madres que tienen doulas pasan menos tiempo de parto, necesitan menos medicación contra el dolor y se les practica un 50% menos de cesáreas que la media nacional.

Hoy Sara está estudiando para ser doula, una profesional que facilita ayuda emocional y física a las madres durante el embarazo, el parto, el nacimiento y las horas inmediatamente posteriores. A veces llamadas profesionales de la ayuda en el parto, ser doula (que viene de la palabra griega que significa "sirviente") es una profesión relativamente nueva. Los requisitos formativos varían, pero las clases de anatomía y fisiología son siempre esenciales. "Tengo que tener conocimientos sobre reproducción y desarrollo fetal para ayudar a la madre y responder preguntas," explica Sara. "Estudiamos cómo cambia el cuerpo durante el embarazo y tenemos una sección entera dedicada al tratamiento de los dolores de parto y el proceso de alumbramiento. Aprendemos los mecanismos de la lactancia y también cómo funciona el pecho".

A Sara le gusta la variedad en su trabajo y las relaciones que crea con sus clientas. "Como yo, la mayoría de las doulas somos adictas a los partos", sonríe. "Nos gusta participar en esta maravillosa experiencia de vida". Muchas doulas trabajan como autónomas y son contratadas directamente por los padres que están esperando un bebé. Suele haber alguna reunión previa para hablar sobre las expectativas de la madre y sus preocupaciones respecto al parto. Sara añade: "Si hay temas delicados, como un aborto en el pasado, se programa una segunda visita prenatal. También podemos ser de gran ayuda para la pareja, porque a menudo tienen preguntas y miedos propios. Nosotras facilitamos la comunicación y les ayudamos a ayudar a la madre". Una doula también puede tener que responder preguntas sobre procedimientos médicos y ofrecer sugerencias sobre nutrición, ejercicio y otras maneras de hacer que el embarazo sea más llevadero.

Cuando sus clientas se ponen de parto, Sara recibe una llamada urgente. "Aun cuando sea en mitad de la noche, si la madre me necesita, yo estoy ahí", dice. "Me reúno con ella en el hospital o en casa, dependiendo de dónde quiere dar a luz, y me quedo durante el parto. Tal vez le doy un masaje, le ayudo a cambiar de posición, doy instrucciones a la pareja... siempre lo que más ayude a la madre. Después del nacimiento, le puedo ayudar a dar de mamar.

DONA, la asociación nacional, certifica a muchas profesionales de ayuda en el parto. Especifica una serie de requisitos para adquirir la certificación entre los que se encuentran:

> *"Tengo que tener conocimientos sobre reproducción y desarrollo fetal para ayudar a la madre."*

- Cumplir con alguno de los siguientes requisitos: formación en educación infantil o como matrona; tener experiencia como enfermera en partos y alumbramientos; o seguir un curso de preparación al parto.
- Hacer un curso de formación oficial de 14 horas o más.
- Proporcionar ayuda continua en tres partos.

Para mayor información, puedes ponerte en contacto con DONA:

P.O. Box 626
Jasper, IN 47547
(888) 788-3662
http://www.dona.org

Para obtener más información sobre esta carrera, haz clic en el vínculo de Orientación Profesional en www.anatomyandphysiology.com.

can testosterona y el desarrollo del sistema de conductos masculino y de los genitales externos venga a continuación. Cuando no se produce testosterona, como en el caso de embriones femeninos que forman ovarios, es cuando se forman los conductos femeninos y los genitales externos.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Cualquier interferencia con el patrón normal de producción de hormona sexual en el embrión da anormalidades como resultado. Por ejemplo, si los testículos embrionarios no producen testosterona, un varón genético desarrolla las estructuras accesorias femeninas y los genitales externos femeninos. Si una mujer genética es expuesta a la testosterona (como podría ocurrir si la madre tiene un tumor que produce andrógenos en su glándula adrenal), el embrión tiene ovarios pero desarrolla conductos accesorios masculinos y glándulas masculinas, así como un pene y un escroto vacío. Los individuos que tienen estructuras reproductoras accesorias que no "corresponden" a sus gónadas reciben el nombre de **pseudohermafroditas,** para distinguirlos de los verdaderos **hermafroditas,** individuos poco comunes que poseen tanto tejidos ováricos como testiculares. En los últimos años, muchos pseudohermafroditas han buscado realizarse operaciones de cambio de sexo para hacer corresponder a su yo exterior (genitales externos) con su yo interior (gónadas).

Además, la separación anormal de cromosomas durante la meiosis puede ocasionar defectos congénitos en este sistema. Por ejemplo, los varones que tienen un cromosoma sexual femenino de más tienen las estructuras accesorias masculinas normales pero sus testículos están atrofiados, causándoles la esterilidad. Otras anormalidades ocurren cuando un niño sólo tiene un cromosoma sexual. Una mujer XO parece normal pero carece de ovarios; los varones YO mueren durante el desarrollo. Otras enfermedades mucho menos graves afectan principalmente a los hombres. Entre éstas encontramos la **fimosis,** que esencialmente es una estrechez de la piel anterior del pene, y aberturas uretrales desplazadas.

Los testículos masculinos, formados en la cavidad abdominal en aproximadamente el mismo lugar que los ovarios femeninos, descienden para entrar en el escroto alrededor de un mes antes del nacimiento. Si los testículos no realizan este descenso normal, entonces se produce la **criptorquidia.** Como esta enfermedad causa la esterilidad del hombre (y también le pone en riesgo de padecer cáncer de testículos), se suele realizar una operación quirúrgica durante la infancia para rectificar este problema. ▲

Como los órganos de los sistemas reproductores no funcionan hasta la pubertad, suele haber pocos problemas con este sistema durante la infancia. La **pubertad** es el periodo de la vida, generalmente entre los 10 y los 15 años de edad, en el que los órganos reproductores crecen hasta su tamaño adulto y se vuelven funcionales bajo la influencia de niveles en aumento de hormonas de las gónadas (testosterona en hombres y estrógeno en mujeres). Después de este periodo de tiempo, la capacidad reproductora se mantiene en los hombres hasta que llegan a una edad avanzada y hasta la menopausia en las mujeres. Las características sexuales secundarias y los principales hechos de la pubertad se han descrito con anterioridad, así que esos detalles no van a ser repetidos aquí. Es importante recordar, sin embargo, que la pubertad representa el periodo más temprano de actividad del sistema reproductor.

Los cambios de la pubertad tienen lugar en la misma secuencia en todas las personas, pero la edad a la que ocurren varía mucho. En los chicos, el cambio que señala el comienzo de la pubertad es el agrandamiento de los testículos y del escroto, en torno a los 13 años de edad, seguido de la aparición de vello púbico, en las axilas y en la cara. El crecimiento del pene continúa durante los dos años que siguen y la maduración sexual está indicada por la presencia de espermatozoides maduros en el semen. Mientras tanto, el jovencito tiene erecciones inesperadas y a menudo abochornantes y frecuentes emisiones nocturnas ("sueños húmedos") en la lucha por un equilibrio normal entre sus hormonas en plena eclosión y sus controles hormonales.

La primera señal de pubertad en las chicas es que los pechos comienzan a desarrollarse, hecho a menudo visible a los 11 años. La primera regla, llamada **menarquia**, suele aparecer unos dos años después. Una ovulación fiable y la fertilidad se aplazan hasta que los controles hormonales maduren, hecho que suele tardar casi dos años más.

DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

En adultos, los problemas más comunes del sistema reproductor son las infecciones. Las infecciones vaginales son más comunes en mujeres jóvenes y mayores y en aquellas cuya resistencia es baja. Entre las infecciones más comunes podemos encontrar las causadas por la *Escherichia coli* (diseminada desde el tracto digestivo); microorganismos de transmisión sexual (como la gonorrea, la sífilis y los herpesvirus) y levaduras (un tipo de hongo). Las infecciones vaginales no tratadas pueden extenderse por el tracto reproductor femenino, causando la enfermedad pélvica inflamatoria (EPI) y esterilidad. Los problemas que implican reglas dolorosas o anormales pueden dar como resultado infecciones o desequilibrios hormonales.

Las enfermedades inflamatorias más comunes en hombres son la **uretritis, la prostatitis** y la **epididimitis;** todas ellas pueden darse como resultado de contactos sexuales en los que se han transmitido los microorganismos de la enfermedad de transmisión sexual (ETS). La orquitis, inflamación de los testículos, es bastante poco común pero grave, ya que puede causar esterilidad. La **orquitis** suele aparecer después de haber padecido una ETS o paperas (en un hombre adulto).

MÁS DE CERCA

CONTRACEPCIÓN: EVITAR EL EMBARAZO

En una sociedad como la nuestra, en la que muchas mujeres optan por carreras profesionales o deben trabajar por motivos económicos, la **contracepción,** anticoncepción, o el *control de la natalidad,* a menudo es considerado como una necesidad. Hasta ahora, la mayor parte de la carga de responsabilidad por el control de la natalidad ha recaído sobre las mujeres y la mayoría de los productos anticonceptivos están dirigidos a ellas.

La clave del control de la natalidad es la fiabilidad. Como muestran las flechas rojas en el gráfico de la página siguiente, las técnicas y los productos anticonceptivos bloquean el proceso reproductor por muchos frentes. Examinemos con más detalle las ventajas relativas de algunos de estos métodos actuales.

El anticonceptivo más utilizado en Estados Unidos es la *píldora de control de natalidad* o, simplemente, la píldora, un preparado de ingestión diaria que contiene pequeñas cantidades de estrógenos y progestinas (hormonas parecidas a la progesterona), excepto las que corresponden a los últimos 7 días del ciclo de 28 días, que carecen de hormonas. La píldora engaña al sistema de control hipotalámico-pituitario y lo "adormece" porque los niveles relativamente constantes de hormonas ováricas en sangre le hacen creer que la mujer está embarazada (tanto el estrógeno como la progesterona son producidos durante el embarazo). Los folículos ováricos no maduran, la ovulación cesa y el flujo menstrual se reduce mucho. Sin embargo, como el equilibrio hormonal en el cuerpo está controlado de manera muy precisa, algunas mujeres simplemente no pueden tolerar los cambios producidos por la píldora y reaccionan con náuseas y/o hipertensión.

La píldora tiene efectos cardiovasculares adversos en algunos casos y aún hay debates sobre si aumenta la incidencia de cáncer de ovario, de útero y, particularmente, de mama. No obstante, parece que las nuevas preparaciones con dosis muy bajas pueden, realmente, ayudar en la protección contra los cánceres de ovario y de endometrio y también pueden haber reducido la incidencia de graves efectos secundarios cardiovasculares como los ictus, los ataques al corazón y los coágulos que ocurrían (raramente) con formas anteriores de píldoras.

Actualmente, la píldora es uno de los medicamentos más utilizados en el mundo; unos 50 millones de mujeres usan estos fármacos para evitar el embarazo. La tasa de fallos es menor del 1%.

> *"La clave del control de la natalidad es la fiabilidad."*

Otra píldora hormonal con una combinación diferente es la *píldora del día después,* que es la terapia a elegir en caso de víctimas de violaciones, por ejemplo. Se vende bajo varios nombres, que incluyen el Ovral®, el Tetragynon® y el Triphasil®. Estas píldoras están siendo cada vez más conocidas. Si se toman dentro de los tres días siguientes a un acto sexual sin protección, estas píldoras, con una combinación concentrada de estrógenos y progesterona, "desorganizan" tanto las señales hormonales normales que la fertilización se evita por completo o se impide que un óvulo fertilizado se implante.

Otras formas de evitar la concepción de manera hormonal son los productos sólo a base de progestina, que hacen que se espese el moco cervical, bloqueando el paso de los espermatozoides y haciendo que el endometrio sea poco acogedor para la implantación. Entre estas formas se incluyen el *Minipill®* (un comprimido), el *Norplant®* (que antes eran seis y ahora consiste en dos minúsculos implantes de silicona debajo de la piel), que libera progestina durante un periodo de 5 años, y *Depo-Provera®,* una progesterona sintética inyectable que dura tres meses. El porcentaje de fallos de Norplant o Depo-Provera es incluso más bajo que el de la píldora.

Durante varios años, el método anticonceptivo más utilizado fue el *dispositivo intrauterino (DIU),* un dispositivo de metal o de plástico insertado dentro del útero que evitaba la implantación del óvulo fertilizado (véase la foto de la página 576). Aunque la tasa de fallos del DIU era casi tan baja como la de la píldora, los DIU se eliminaron del mercado en Estados Unidos debido a problemas de fallos ocasionales de anticoncepción, perforación uterina o enfermedad pélvica inflamatoria (EPI). Actualmente, se están recomendando nuevos productos DIU que liberan dosis ininterrumpidas de progesterona sintética al endometrio a mujeres que han dado a luz y a mujeres con un riesgo más bajo de contraer EPI en relaciones monógamas.

Las técnicas de esterilización, como la *ligadura de trompas* y la *vasectomía* (cortar o cauterizar las trompas de Falopio o el conducto deferente, respectivamente) son casi infalibles y constituyen la

elección de casi el 33% de las parejas en edad de procrear en Estados Unidos. Ambos procedimientos pueden realizarse en la consulta del médico. Sin embargo, estos cambios suelen ser permanentes, de modo que no están pensados para personas que desean tener hijos pero quieren elegir el momento.

El *coitus interruptus,* o retirada del pene justo antes de la eyaculación, es simplemente algo contra natura, además del hecho de que el control de la eyaculación nunca está asegurado. Los *métodos del ritmo* o *del conocimiento de la fertilidad* descansan en el hecho de evitar el coito durante el periodo de ovulación o de fertilidad.

Esto puede lograrse mediante (1) el registro diario de la temperatura basal del cuerpo (la temperatura corporal baja ligeramente inmediatamente antes de la ovulación y sube ligeramente después de la ovulación) o, (2) el registro de los cambios en el patrón salivar con un instrumento del tamaño de una barra de labios que no necesita receta médica llamado microscopio Ovulite.

Con un porcentaje de fallos del 10 al 20%, las técnicas del ritmo requieren un registro muy preciso de algunos ciclos antes de que puedan ser utilizadas con seguridad. Los *métodos de barrera,* como los diafragmas, los capuchones cervicales, los condones (véase foto), los espermicidas, geles y esponjas anticonceptivas son bastante efectivos, especialmente si ambos componentes de la pareja combinan más de uno. Pero mucha gente los evita porque pueden reducir la espontaneidad de los encuentros sexuales.

El *aborto* es la terminación de un embarazo en progreso. El aborto espontáneo es común y ocurre con frecuencia antes de que una mujer se dé cuenta de que ha concebido. Además, más de un millón de mujeres optan por terminar su embarazo en la consulta de un médico. En este sen-

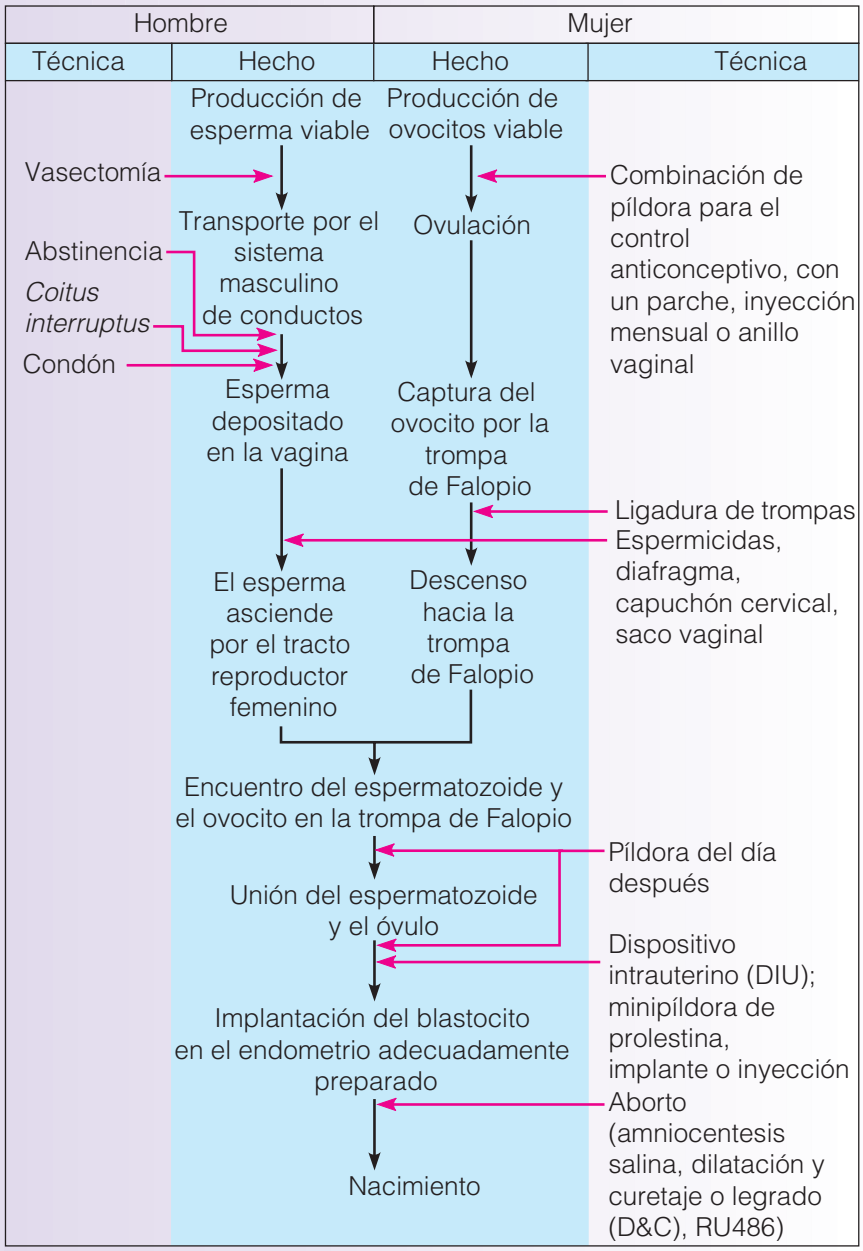


Diagrama de flujo de los hechos que deben tener lugar para concebir un bebé. Las técnicas o productos que interfieren en el proceso están indicados mediante flechas rojas en el punto de interferencia; actúan para evitar el siguiente paso

MÁS DE CERCA Contracepción *(continuación)*

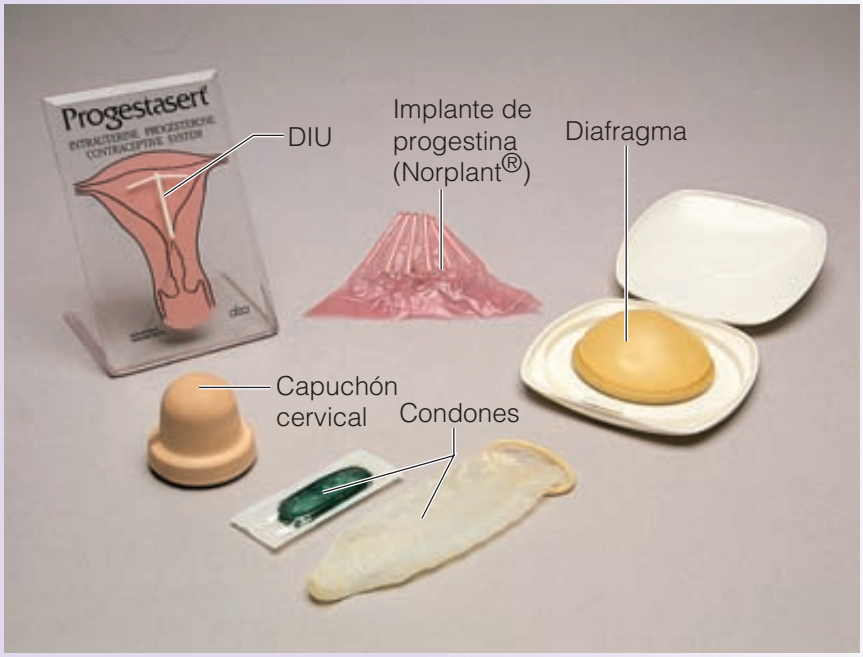
tido, la *RU486,* la llamada píldora abortiva desarrollada en Francia, se utiliza mucho en Estados Unidos.

Si se toma durante las siete primeras semanas de gestación junto con una pequeña cantidad de prostaglandina para inducir las contracciones uterinas, provoca el aborto mediante el bloqueo del efecto tranquilizante de la progesterona en el útero. La RU486 tiene de un 96% a un 98% de éxito con muy pocos efectos secundarios, aparte de calambres y sangrado ligero.

Sin embargo, un escaso número de muertes debidas a infecciones y síndrome de respuesta inflamatoria sistémica por infección (SRIS) motivó que la FDA *(Food and Drug Administration)* emitiera un aviso sobre la utilización de la RU486 en julio del año 2005.

Estos incidentes fueron muy poco frecuentes, pero se han seguido estudiando los efectos de este medicamento. En la actualidad aprobada por la FDA, se ha convertido en un tema de gran controversia entre los grupos pro-elección propia y los grupos pro-vida en Estados Unidos.

Este resumen apenas ha cubierto el gran número de medicamentos experimentales de control de la natalidad que ahora esperan ser desarrollados en los ensayos clínicos, así como otros métodos que seguramente serán desarrollados en un futuro muy cercano. No obstante, en el análisis final, el único método de control de la natalidad con una efectividad del 100% es uno tan viejo como el mundo: *la abstinencia total.*



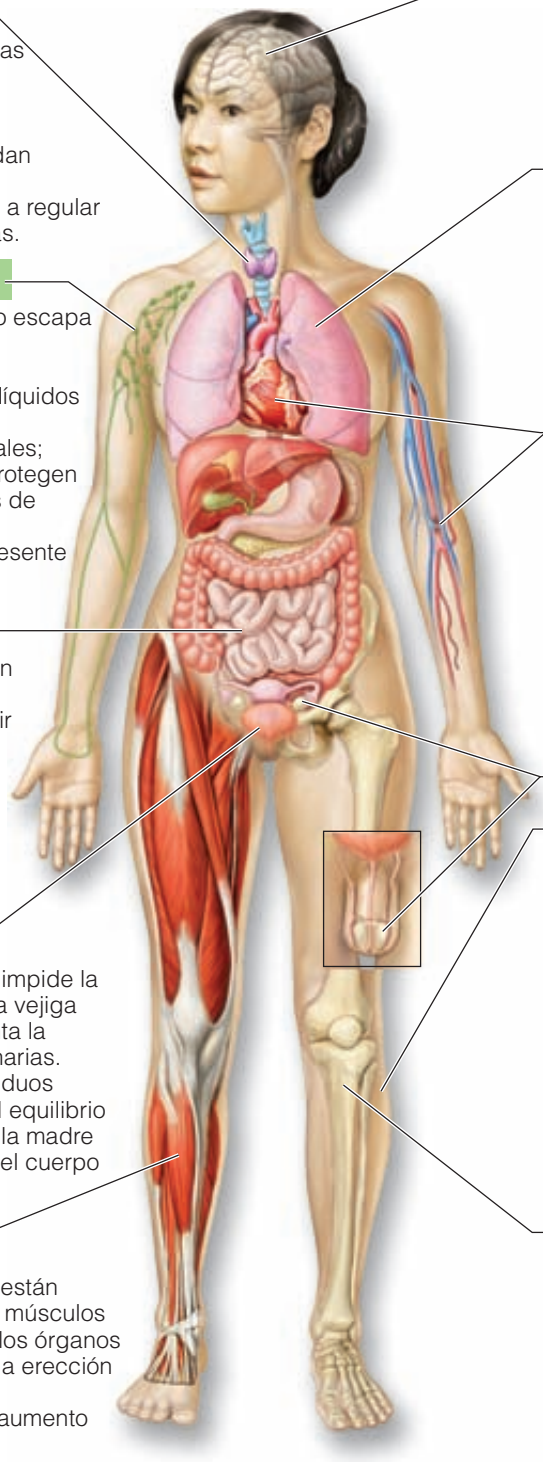
Algunos dispositivos anticonceptivos.

Como se ha dicho antes, los neoplasmas (tumores) representan una gran amenaza para los órganos de los sistemas reproductores. Los tumores de mama y de cérvix son los tipos de cáncer reproductor más comunes en las mujeres adultas, y el cáncer de próstata (una secuela frecuente de la hipertrofia prostática) es un problema muy extendido en los hombres adultos. ▲

La mayoría de las mujeres alcanza el pico de sus capacidades reproductoras hacia los treinta años. Después, hay un descenso natural en las funciones ováricas. A medida que la producción de estrógenos disminuye, la ovulación se vuelve irregular y los periodos menstruales escasos y más cortos. Finalmente, la ovulación y las reglas cesan del todo, terminando la capacidad de tener hijos. Se considera que este hecho, llamado **menopausia,** ocurre una vez transcurrido todo un año sin menstruación. Aunque la producción de estrógeno continúa un tiempo después de la menopausia, los ovarios dejan de funcionar finalmente como órganos endocrinos. Cuando se quedan sin los efectos estimulantes del estrógeno, los órganos reproductores y los pechos se empiezan a atrofiar. La vagina se va secando (con lo que la penetración en los encuentros sexuales puede volverse dolorosa, sobre todo si éstos no son frecuentes) y cada vez es más común tener infecciones vaginales. Otras consecuencias derivadas del déficit de estrógeno son: irritabilidad y otros cambios de humor (depresión en algunos); intensa vasodilatación de los vasos sanguíneos de la piel, lo cual causa los molestos

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL
SISTEMA REPRODUCTOR *Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO*



Sistema endocrino
- Las hormonas de las gónadas ejercen efectos de retroalimentación en el eje hipotálamo-pituitaria; las hormonas placentarias ayudan a mantener el embarazo.
- Las gonadotropinas ayudan a regular las funciones de las gónadas.

Sistema linfático/inmunitario
- El embrión/feto en desarrollo escapa a la vigilancia inmunológica (no es rechazado).
- Los vasos linfáticos drenan líquidos tisulares que se han filtrado; transportan hormonas sexuales; las células inmunológicas protegen a los órganos reproductores de sufrir enfermedades; la IgA (inmunoglobulina A) está presente en la leche materna.

Sistema digestivo
- Los órganos digestivos están presionados por el feto en desarrollo. Es frecuente sufrir ardor de estómago y estreñimiento durante la gestación.
- El sistema digestivo proporciona nutrientes necesarios para la salud.

Sistema urinario
- La hipertrofia de la próstata impide la micción; la compresión de la vejiga durante el embarazo aumenta la frecuencia y la urgencia urinarias.
- Los riñones eliminan los residuos nitrogenados y mantienen el equilibrio ácido-base de la sangre en la madre y en el feto. El semen sale del cuerpo por la uretra del hombre.

Sistema muscular
- Los músculos abdominales están activos durante el parto; los músculos del suelo pélvico sostienen los órganos reproductores y ayudan en la erección del pene/clítoris.
- Los andrógenos facilitan el aumento de la masa muscular.

Sistema nervioso
- Las hormonas sexuales masculinizan o feminizan el cerebro e influyen en el impulso sexual.
- El hipotálamo regula el ritmo de la pubertad; los reflejos neurales regulan la respuesta sexual.

Sistema respiratorio
- El embarazo perjudica el descenso del diafragma, haciendo que respirar se vuelva difícil.
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno y elimina dióxido de carbono. La capacidad vital y el ritmo respiratorio aumentan durante la gestación.

Sistema cardiovascular
- Los estrógenos bajan los niveles de colesterol en sangre y mejoran la salud cardiovascular en mujeres premenopáusicas. El embarazo aumenta la carga de trabajo del sistema cardiovascular.
- El sistema cardiovascular transporta sustancias necesarias a órganos del sistema reproductor. La vasodilatación local está implicada en la erección. La sangre transporta hormonas sexuales.

Sistema reproductor

Sistema integumentario
- Las hormonas sexuales masculinas (andrógenos) activan las glándulas sebáceas, que lubrican la piel y el pelo; las hormonas de las gónadas estimulan la distribución característica de la grasa y la aparición de vello púbico y axilar; el estrógeno aumenta la hidratación de la piel y acentúa la pigmentación de la cara durante el embarazo.
- La piel protege todos los órganos del cuerpo al rodearlos por fuera. Las secreciones de las glándulas mamarias (la leche) alimentan al bebé.

Sistema esquelético
- Los andrógenos masculinizan el esqueleto y aumentan la densidad de los huesos; el estrógeno feminiza el esqueleto y mantiene la masa ósea en las mujeres.
- Los huesos de la pelvis encierran algunos de los órganos reproductores. Si es estrecha, la pelvis puede obstaculizar el parto vaginal de los bebés.

"sofocos", en los que un calor repentino hace que la mujer se empape de sudor; afinamiento gradual de la piel y pérdida de masa ósea y una lenta subida de los niveles de colesterol en sangre, que sitúa a las mujeres postmenopáusicas en riesgo de padecer afecciones cardiovasculares. Hace tiempo, los médicos prescribían preparaciones con dosis bajas de estrógeno y progesterona para ayudar a las mujeres a pasar este periodo a menudo difícil y a evitar las complicaciones cardiovasculares y del esqueleto. Esto pareció convertirse en la panacea y hasta julio de 2002 unos 14 millones de norteamericanas tomaban alguna forma de terapia sustitutiva de hormonas que contenían estrógeno (HRT). Entonces, el 9 de julio de ese año, la *Women's Health Initiative* (WHI) terminó abruptamente un ensayo clínico con 16.000 mujeres postmenopáusicas informando que, en aquellas que tomaban una popular combinación de hormonas de progesterona y estrógeno, hubo un incremento del 51% de enfermedades del corazón, un 24% de cáncer invasivo de mama, un 31% de ictus y el doble de riesgo de sufrir demencia en comparación con aquellas que tomaban placebo. La repercusión de este hallazgo aún se extiende por las consultas de los médicos y los laboratorios de investigación y ha desalentado el entusiasmo por la HRT tanto en la comunidad médica como entre las mujeres postmenopáusicas. Un nuevo y esperanzador estudio de 2006 informó sobre una caída significativa en los cánceres de mama, debido casi en su totalidad a unas pocas mujeres que aún seguían con la HRT.

No hay un equivalente de la menopausia en hombres. Aunque los hombres ya mayores muestran un declive continuo en la secreción de testosterona, su capacidad reproductora parece ser interminable. Hombres sanos con ochenta años y más son capaces de engendrar descendencia.

¿LO HAS ENTENDIDO?

25. ¿Qué combinación cromosómica sexual da lugar a un niño, XX o XY? ¿Qué hormona debe ser producida por un feto XY durante la gestación para estimular su propia formación del sistema masculino de conductos?
26. ¿Qué es la criptorquidia y qué da como resultado si no se rectifica?
27. ¿Cuáles son las principales amenazas a la salud del sistema reproductor de una mujer adulta?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se ofrecen las referencias de otros materiales de estudio útiles también para el repaso de los aspectos clave del Capítulo 16.

IP = *InterActive Physiology*
WEB = The A&P Place

Anatomía del sistema reproductor masculino (págs. 546-549)

1. El par de testículos, las gónadas masculinas, se hallan en el escroto, fuera de la cavidad abdominal. Los testículos tienen tanto una función exocrina (producción de espermatozoides) como endocrina (producción de testosterona).
2. El sistema masculino de conductos incluye el epidídimo, el conducto deferente y la uretra. La maduración de los espermatozoides tiene lugar en el epidídimo. Cuando se produce la eyaculación, los espermatozoides son proyectados a través de los conductos hacia el exterior.
3. Las glándulas accesorias masculinas incluyen las vesículas seminales, la próstata y las glándulas bulbouretrales. Conjuntamente, estas glándulas producen un líquido que activa y nutre a los espermatozoides.
4. Genitales externos:
   a. Escroto: saco de piel que cuelga por fuera de la cavidad abdominal y permite mantener una temperatura adecuada para la producción de espermatozoides viables.
   b. Pene: está formado por tres columnas de tejido eréctil que rodean a la uretra. El tejido eréctil sirve para que el pene adquiera rigidez y pueda penetrar mejor durante el acto sexual.

WEB Actividad: Chapter 16, Male Reproductive Anatomy: Sagittal View.

Funciones reproductoras masculinas (págs. 550-553)

1. La espermatogénesis (producción de espermatozoides) comienza en la pubertad en los túbulos seminíferos como respuesta a la FSH. La espermatogénesis implica procesos de meiosis, una división nuclear especial que divide por la mitad el número de cromosomas en las espermátidas resultantes. Un proceso adicional que libera el exceso de citoplasma de las espermátidas, la espermiogénesis, es necesario para la producción de espermatozoides funcionales y con motilidad.

2. La producción de testosterona comienza en la pubertad como respuesta a la hormona LH. Las células intersticiales de los testículos producen la testosterona, que causa la aparición de las características sexuales secundarias y es necesaria para la maduración del esperma.

Anatomía del sistema reproductor femenino (págs. 553-557)

1. Los ovarios, las gónadas femeninas, están situadas contra las paredes laterales de la pelvis. Producen células sexuales femeninas (función exocrina) y hormonas (función endocrina).
2. El sistema de conductos:
   a. Las trompas de Falopio se extienden desde las cercanías de un ovario hasta el útero. Los extremos tienen flecos y "ondean" para dirigir a los ovocitos ovulados hacia las trompas de Falopio, que conducen al ovocito (embrión) al útero mediante peristalsis y movimiento ciliar.
   b. El útero es un órgano muscular con forma de pera en el que el embrión se implanta y se desarrolla. Su mucosa (endometrio) se desprende cada mes en menstruaciones a menos que un embrión se haya metido en él. El miometrio se contrae rítmicamente durante el parto de un bebé.
   c. La vagina es un pasadizo entre el útero y el exterior del cuerpo que permite que el bebé o el flujo menstrual salgan del cuerpo. También recibe al pene y al semen durante el acto sexual.
3. Entre los genitales externos femeninos se incluyen los labios mayores y los menores (pliegues de la piel), el clítoris y las aberturas uretral y vaginal.

Funciones y ciclos reproductores femeninos (págs. 557-561)

1. La ovogénesis (producción de células sexuales femeninas) ocurre en los folículos ováricos, que son activados en la pubertad por la FSH y la LH para madurar y expulsar ovocitos (en la ovulación) en ciclos. El óvulo sólo se forma si un espermatozoide penetra el ovocito secundario. En las mujeres, la meiosis sólo produce un óvulo funcional (más tres cuerpos polares no funcionales), en contraposición con los cuatro espermatozoides funcionales de cada meiosis producida por hombres.
2. Producción de hormonas: los estrógenos son producidos por folículos ováricos en respuesta a la FSH. La progesterona, producida como respuesta a la LH, es el principal producto hormonal del cuerpo lúteo. Los estrógenos estimulan el desarrollo de las características sexuales secundarias.
3. El ciclo menstrual incluye cambios en el endometrio en respuesta a los niveles fluctuantes de hormonas ováricas en sangre. Hay tres fases:
   a. Fase menstrual. El endometrio se desprende y aparece el sangrado. Las hormonas ováricas están en sus niveles mínimos.
   b. Fase proliferativa. El endometrio es reparado, engrosa y se vasculariza mucho como respuesta a niveles cada vez mayores de estrógenos.
   c. Fase secretora. Las glándulas del endometrio empiezan a secretar nutrientes y el recubrimiento se vuelve más vascular en respuesta a niveles cada vez mayores de progesterona.
4. Si no hay fertilización, las fases se repiten cada 28 días.

WEB Actividad: Chapter 16, The Female Menstrual Cycle.

Glándulas mamarias (págs. 561-563)

1. Las glándulas mamarias son glándulas productoras de leche que se encuentran en los pechos. Después del parto de un bebé, producen leche como respuesta a la estimulación hormonal.

Estudio sobre el embarazo y el desarrollo embrionario (págs. 563-571)

1. Un ovocito es fertilizable hasta 24 horas después de ser liberado. Los espermatozoides son viables dentro del tracto reproductor femenino hasta 48 horas. Cientos de espermatozoides deben liberar sus enzimas acrosómicas para degradar la membrana plasmática del óvulo.
2. Después de la penetración del espermatozoide, el ovocito secundario completa la meiosis II. Entonces, los núcleos del óvulo y del espermatozoide se unen (fertilización), formando un zigoto.
3. Si la fertilización ocurre, comienza inmediatamente el desarrollo embrionario. La segmentación, una rápida serie de divisiones mitóticas sin que haya crecimiento, empieza con el zigoto y termina con un blastocito.
4. Para el día 14 después de la ovulación, el joven embrión (blastocito) se ha implantado en el endometrio y se forma la placenta. La gonadotropina coriónica humana (GCH), liberada por el blastocito, mantiene la producción hormonal del cuerpo lúteo, evitando que haya menstruaciones hasta que la placenta asume su papel endocrino.
5. La placenta da servicio a las necesidades respiratorias, nutritivas y excretoras del embrión y produce hormonas de gestación.
6. Todos los sistemas principales de órganos ya se han determinado a las ocho semanas, y a las nueve semanas el embrión pasa a denominarse feto. El crecimiento y la especialización de los tejidos/órganos son los acontecimientos principales del periodo fetal.
7. Una mujer embarazada tiene mayores demandas respiratorias, circulatorias y urinarias debido al feto en desarrollo que lleva dentro. Es necesaria una buena nutrición para producir un bebé sano.
8. El nacimiento o alumbramiento incluye una serie de acontecimientos llamados parto. Éste comienza por varios factores, pero lo más importante es la subida en los niveles de oxitocina y prostaglandinas, que estimulan contracciones

uterinas vigorosas. Las tres fases del parto son la dilatación, la expulsión y el alumbramiento.

Formación y desarrollo del sistema reproductor (págs. 571-578)

1. Las estructuras del sistema reproductor de hombres y mujeres son idénticas durante el desarrollo más temprano. Las gónadas empiezan a desarrollarse en la octava semana. La presencia o ausencia de testosterona determina si los órganos reproductores accesorios que se forman son femeninos o masculinos.
2. La separación anormal de los cromosomas sexuales durante la formación de las células sexuales da como resultado defectos congénitos importantes.
3. El sistema reproductor está inactivo durante la infancia. Los órganos reproductores maduran y se vuelven funcionales para la reproducción durante la pubertad.
4. Los problemas de reproducción más comunes durante la primera edad adulta son las infecciones del tracto reproductor. Los neoplasmas (tumores) de mama y de cérvix con amenazas importantes para las mujeres. El cáncer de próstata es el cáncer del sistema reproductor más común en los hombres.

   WEB Actividad: Chapter 16, Reproductive Case Study.
5. Durante la menopausia, las capacidades reproductoras de las mujeres terminan y los órganos reproductores empiezan a atrofiarse. Pueden aparecer sofocos y cambios de humor. La capacidad reproductora no parece declinar significativamente en hombres mayores.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. ¿Cuáles de las siguientes son estructuras sexuales accesorias en el hombre?
   a. Gónadas.
   b. Gametos.
   c. Hombros amplios.
   d. Vesículas seminales.
2. ¿Cuál está mal asociado?
   a. Vagina—pene.
   b. Testículos—ovario.
   c. Labios mayores—escroto.
   d. Oviducto—conducto deferente.
3. El miometrio es la capa muscular del útero y el endometrio es la capa _____.
   a. serosa
   b. adventicia
   c. submucosa
   d. mucosa
4. Todas las opciones siguientes acerca de las gonadotropinas son verdaderas excepto en que son
   a. secretadas por la glándula pituitaria.
   b. LH y FSH.
   c. hormonas con funciones importantes tanto en hombres como en mujeres.
   d. las hormonas sexuales secretadas por las gónadas.
5. El área aproximada que se halla entre el ano y el clítoris en la mujer es
   a. el peritoneo.
   b. el perineo.
   c. la vulva.
   d. los labios.
6. ¿Cuál de los siguientes se adhiere al ovario?
   a. Las fimbrias.
   b. El ligamento ovárico.
   c. Los ligamentos suspensorios.
   d. El ligamento ancho.
7. Los óvulos humanos y los espermatozoides son similares en que
   a. cada mes se produce más o menos el mismo número de cada uno.
   b. tienen el mismo grado de motilidad.
   c. tienen un tamaño muy parecido.
   d. tienen el mismo número de cromosomas.
8. Elige la afirmación falsa sobre el cérvix del útero.
   a. Es la parte más superior del útero.
   b. Se proyecta dentro de la vagina.
   c. Sus glándulas cervicales secretan moco.
   d. Contiene el canal cervical.
9. Cada mes, sólo un
   a. folículo primario es estimulado.
   b. folículo secreta estrógeno.
   c. folículo vesicular pasa por la ovulación.
   d. ovario es estimulado.
10. Después de la ovulación, el folículo roto
    a. degenera.
    b. se convierte en un cuerpo lúteo.
    c. se desprende como material de deshecho.
    d. se arregla y produce otro ovocito.
11. La capa exterior del blastocito, que se adhiere a la pared uterina, es
    a. el saco de yema.
    b. la masa celular interna.
    c. el amnios.
    d. el trofoblasto.

12. La presentación más normal y deseable para el parto es
    a. de vértice.
    b. de nalgas.
    c. de no vértice.
    d. con la cabeza primero.
13. Durante el desarrollo embrionario humano, la organogénesis ocurre
    a. durante el primer trimestre.
    b. durante el segundo trimestre.
    c. durante el tercer trimestre.
    d. durante la formación de la blástula.

Respuesta breve

14. ¿Cuáles son los órganos sexuales primarios, o gónadas, de los hombres? ¿Cuáles son sus dos funciones principales?
15. ¿Cuál es la función del líquido seminal? Nombra los tres tipos de glándulas que ayudan a producirlo.
16. El pene contiene tejido eréctil que se inunda de sangre durante la excitación sexual. ¿Qué término se utiliza para describir esto?
17. Define *eyaculación*.
18. ¿Por qué las gónadas masculinas no se encuentran en la cavidad abdominal? ¿Dónde están?
19. ¿Cómo interfiere el agrandamiento de la próstata con la función reproductora masculina?
20. ¿Cuándo comienza la espermatogénesis? ¿Qué es lo que hace que empiece?
21. La testosterona hace que las características sexuales secundarias aparezcan durante la pubertad. Nombra tres ejemplos de características sexuales secundarias masculinas.
22. Explica por qué la respuesta sexual de un hombre y sus características sexuales secundarias siguen sin cambios después de una vasectomía.
23. Nombra la gónada femenina y describe sus dos funciones principales.
24. ¿Por qué el término *sistema urogenital* es más aplicable a hombres que a mujeres?
25. Nombra las estructuras del sistema de conductos femenino y describe las funciones importantes de cada una.
26. Dado que las trompas de Falopio no se continúan los ovarios, ¿cómo podrías explicar el hecho de que todos los "óvulos" ovulados no terminan en la cavidad peritoneal femenina?
27. ¿Qué es un folículo? ¿Qué es ovulación?
28. La célula femenina ovulada no es una célula sexual madura (óvulo). ¿Cuándo o bajo qué condiciones madura?
29. ¿Qué estructuras ováricas producen estrógenos? Nombra la segunda hormona producida por las mismas estructuras.
30. Haz una lista y describe los hechos del ciclo menstrual. ¿Por qué este ciclo es tan importante?
31. Define *menopausia*. ¿Qué significado tiene para una mujer?
32. Define *fertilización*. ¿Dónde suele ocurrir la fertilización? Describe el proceso de la implantación.
33. ¿En qué medida se altera el cuerpo de una mujer con el embarazo?
34. ¿Qué es lo que desencadena el parto?
35. ¿En qué fase del parto tiene lugar la salida del bebé?
36. ¿Qué es la *fase indiferenciada* del desarrollo embrionario?
37. ¿Cuáles son los hechos principales de la pubertad?
38. Compara los efectos del envejecimiento en los sistemas reproductores masculino y femenino.

PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

39. Una mujer embarazada con dolores de importancia llamó a su médico y le explicó (entre sollozos) que estaba a punto de tener a su bebé "allí mismo". El médico la calmó y le preguntó de dónde sacaba esa idea. Ella dijo que había roto aguas y que su marido podía ver la cabeza del bebé. **(a)** ¿Tenía razón al creer que el nacimiento era inminente? Si es así, ¿en qué fase del parto estaba? **(b)** ¿Piensas que tenía tiempo de ir al hospital, que estaba a 30 kilómetros? ¿Por qué o por qué no?
40. A la edad de 17 años, en una operación a Lucía le tuvieron que extirpar su ovario izquierdo y su trompa de Falopio derecha debido a un quiste y a un tumor en esos órganos. Ahora, con 32 años, está sana y espera su segundo hijo. ¿Cómo pudo concebir un hijo con sólo un ovario y una trompa separada del ovario y al otro lado de la pelvis?
41. Algunos estudiantes de anatomía decían que las glándulas bulbouretrales de los hombres actúan como personal municipal que viene y quita todos los coches aparcados en una calle antes de un desfile o una procesión. ¿Qué querían decir con esta analogía?
42. Una joven fue a ver a su médico para someterse a un examen ginecológico antes de casarse y le pidió información sobre anticonceptivos. Desea tener una gran familia pero "aún no". Añade que sus creencias religiosas le impiden

utilizar cualquier fármaco o método mecánico de control de natalidad. ¿Cuáles son las únicas opciones para esta chica?

43. La Sra. Montes está experimentando contracciones de Braxton Hicks en el sexto mes de gestación. ¿Por qué le ha prescrito el médico ibuprofeno? ¿Con qué mecanismo interfiere este fármaco?

44. En la época medieval, a veces a los chicos jóvenes que tenían voces de soprano maravillosas les castraban (les quitaban los testículos) para que sus preciosas voces no cambiaran. Explica la causa y el efecto de este hecho.

45. Imagina que un espermatozoide ha penetrado en un cuerpo polar y que sus núcleos se unen. ¿Por qué es improbable que la célula resultante forme un embrión sano?

Apéndice A

LEXEMAS, PREFIJOS Y SUFIJOS

LEXEMAS

Monema	Significado
Aparato circulatorio	
angio, vaso	de los vasos sanguíneos
arteria	arteria
cardio	corazón
embolia	obstrucción por coágulo
hemo, hema, hemat, hemato	sangre
linfo	linfa
trombo	coágulo (de sangre)
vena, flebo	vena
Aparato digestivo	
ano, procto	ano
bilis	vesícula biliar
bucca	mejilla
colecist	vesícula biliar
colo	colon
duodeno	duodeno
entero	intestino
esofago	esófago
faringo	faringe
gastero, gastro	estómago
gingiva	encía
glosa	lengua
hepato	hígado
ileo	íleon
os, estoma	boca
pancrea	páncreas
recto	recto
yeyuno	yeyuno
Sistema óseo	
esqueleto	esqueleto
Sistema respiratorio	
amigdal	amígdala
bronquio, bronco	bronquio(s)
laringo	laringe
naso, rino	nariz
pulmo, neumo	pulmón
traqueo	tráquea
Sistema nervioso	
cerebro	cerebro
neuro	nervio
oculo, oftalmo	ojo
oto	oído
psiqui, psico	mente
Aparato excretor	
cist	vejiga
pielo	pelvis renal
ren, renal, nefro	riñón
ureter, uretero	uréter
uretra	uretra
uro	orina
Aparato reproductor femenino	
cervico	cuello del útero
labio	labio(s)
ovari, ooforo	ovario
perineo	perineo
trompa, salpingo	trompa de falopio
útero	útero
vagin, colpo	vagina
volva	vulva
Aparato reproductor masculino	
orquido	testículos
Partes del cuerpo	
abdomino	abdomen
cervic, traque	cuello
craneo, cefalo	cabeza
dorso	espalda
toraco	pecho
Tejidos	
condro	cartílago
cutis, dermato	piel
lipo	grasa
mielo	médula
musculo, mio	músculo
osteo	hueso
Varios	
cito	célula
cinesis	movimiento
escopio	instrumento para examen visual
fobia	temor
foto	luz
gene	generación
grafo	escrito, descripción
gramo	marca de la balanza
lapar	a través de la pared abdominal
metro	medida
oligo	poco
pio	pus
roentgen	rayos-X

continúa

LEXEMAS, PREFIJOS Y SUFIJOS *(CONTINUACIÓN)*

PREFIJOS

Monema	Significado
a-, an-, ar-	negación, privación
ab-	fuera de
acro-	extremo
aden-, adeno-	glándula
aero-	aire
ambi-	alrededor, en ambos lados
amil-, amilo-	almidón
anti-	opuesto, contrario
bi-	doble
bi- bilis-	bilis
bio-	vida
bis-	dos
bradi-	lento
braquio-	brazo
bronquio-, bronco-	bronquio(s)
cardio-	corazón
cervic-	cuello
cirun-, circum-	alrededor
cist-	vejiga
co-, com-	agregación, cooperación
cole-	bilis, hiel
colecisto-	vesícula biliar
contra-	oposición, contrariedad
costo-	costillas
cuadri-, cuadru-/cuatri-	cuatro
derm-, dermato-	piel
dis-	anomalía, dificultad
dis-	separación
dorso-	espalda
electro-	eléctrico
en-	dentro de, sobre
encefal-, encefalo-	cerebro
entero-	intestino
equi-	igual
erit-, eritro-	rojo
esclero-	duro
esquelet-	esqueleto
esteno-	proceso patológico de estrechamiento
ex-	fuera, más allá, privación
extra-	fuera de, sumamente
faringo-	faringe
ferr-, ferro-	hierro
fibr-	fibra
flebo-	vena
foto-	luz
fren-, freno-	diafragma
gast-, gastero-, gastro-	estómago
gloso-	lengua
gluc-, gluco-	glucosa
hemo-, hema- hemat-	sangre
hemi-	medio
hepato-	hígado
hidro-	agua
higro-	humedad
hiper-	superioridad, exceso
hipo-	debajo de, escasez de
hister-	matriz
histo-	tejido orgánico
homo-	igual
íleo-	íleon
in-	adentro, en el interior
inter-	entre, en medio
intra-	dentro de, en el interior
lapar-	costado ventral
laringo-	laringe
latero-	lado
leuc-, leuco-	blanco
macro-	grande
mal-	malo, pobre
mast-, masto-	mama
medio-	medio
mega-, megalo-	grande, enorme
men-	menstruación
mielo-	médula espinal, tuétano
mono-	único
multi-	muchos
nefr-, nefro-	riñón
neo-	nuevo
neumo-	aire, pulmones
neuro-	nervio
nict-	noche
nitro-	nitrógeno
no-	no
ob-	contrario, adverso
oculo-	ojo
odonto-	dientes
oftalmo-	ojo
orto-	recto, correcto
os-	hueso, boca
osteo-	hueso
oto-	oído
pan-	totalidad
para-	al margen de, contra
pato-	afección
ped-, pedo-	niño
pedo-	provisto de pie
per-	por, a través de
peri-	alrededor de
piel-, pielo-	pelvis renal
pio-	pus
piro-	fiebre, calor
podo-	pie
poli-	mucho
pos-, post-	después de
pre-	antes de
proct-, procto-	recto
pseudo-	falso
psico-	mente
radio-	radiación
re-	atrás, repetición
ren-, renal-	riñón
retro-	hacia atrás
rino-	nariz
sacro-	sacro
semi-	medio
sexa-	seis
sub-	bajo, debajo de
super-	encima de, exceso
supra-	encima de
yuxta-	junto a

LEXEMAS, PREFIJOS Y SUFIJOS *(CONTINUACIÓN)*

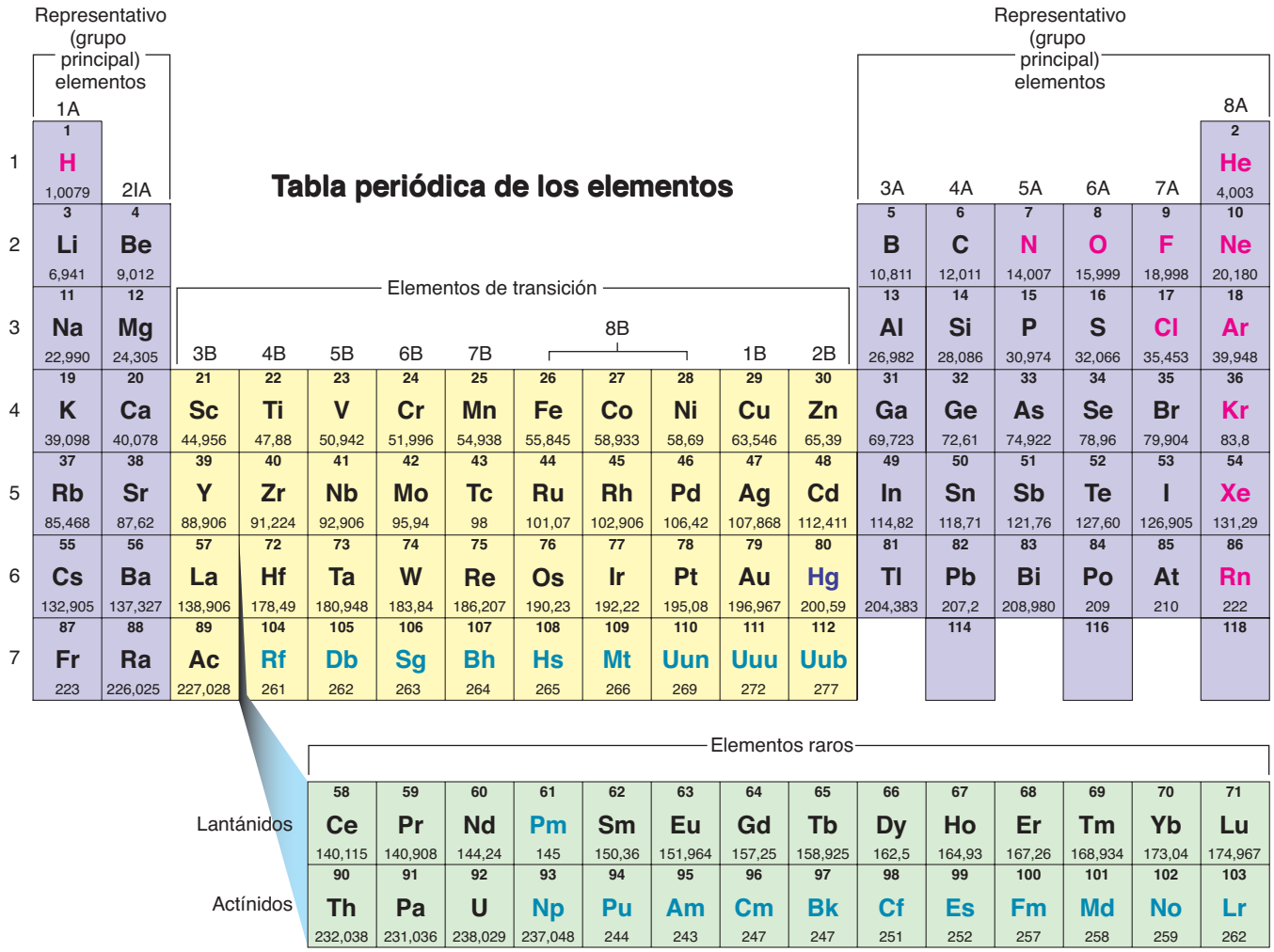
SUFIJOS

Monema	Significado	Monema	Significado	Monema	Significado
-able, -ible	posibilidad pasiva	-gramo	marca de la balanza	-scopio, -scópico, -scópica	para examinar visualmente
-algia	dolor	-in	no	-sin	unión
-cele	hernia, tumor	-isis	enfermedad	-stoma, -stomía	formación quirúrgica de un orificio
-centesis	perforación quirúrgica para obtener fluido	-ismo	proceso patológico		
		-itis	inflamación		
-cida	exterminador, matador	-izar	acción de tratar	-taqui	rápido
		-lisis	disolución, descomposición	-tiro	tiroides, glándula
-cito	célula			-tomía	corte, incisión
-culo	pequeño	-litiasis	presencia de piedras	-tomía	incisión quirúrgica
-ectasia	dilatación, extensión			-trans	al otro lado, a través de
		-lito	piedra, cálculo		
-ectomía	escisión, ablación quirúrgica	-megalia	tamaño excesivo	-traquea, -traqueo	tráquea
		-metro	aparato para medir	-tri	tres
-emia	presencia anormal de sangre	-oide	parecido a, en forma de	-ultra	más allá de, al lado de
		-osis	enfermedad	-uni	uno
-escopio	instrumento para examen visual	-oma	tumor	-ureter, -uretero	uréter
		-orrafia	sutura quirúgica	-uretra	uretra
-esis	acción	-patía	dolencia	-uria	orina
-fago	que come	-pexia	fijación	-uro	orina, órganos urinarios
-fobia	temor	-plastia	reconstrucción		
-forme	en forma de	-plejia	parálisis	-vaso	de los vasos sanguíneos
-génesis,-génico	origen, proceso de formación	-rragia	derramamiento		
		-rrea	manación excesiva	-zima	levadura, enzima
-grafo	escrito	-rrexis	ruptura		

Fuentes: Cortesía de Margaret Ling, directora de Vocational Nursing, Santa Rosa Junior College, Santa Rosa, California; Kozier, B., G. ERb, A. J. Berman, y K. Burke: *Fundamentals of Nursing: Concepts and Procedures*, sexta edición, Prentice Hall, 2000. Utilizado con permiso.

Apéndice B

TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS



La tabla periódica ordena los elementos de acuerdo con el número y peso atómico en filas horizontales llamadas *periodos,* y en 18 columnas verticales denominadas *grupos* o *familias.* Los elementos de los grupos se clasifican dentro de las clases A o B.

Los elementos de cada grupo de las series A tienen propiedades químicas y físicas similares, lo que refleja el hecho de que los miembros de un grupo particular tengan el mismo número de electrones de la capa de valencia, que viene indicado por el número del grupo. Por ejemplo, los elementos del grupo 1A tienen un electrón en la capa de valencia, los del grupo 2A, dos; y los del 5A, cinco. Por el contrario, según avanzas de izquierda a derecha, las propiedades de los elementos cambian en pasos específicos, variando gradualmente de las propiedades muy metálicas de los grupos 1A y 2A a las no metálicas dadas en el grupo 7A (cloro y otros), y finalmente a los elementos inertes (gases nobles) del grupo 8A. Este cambio refleja el incremento continuo del número de electrones en la capa de valencia dada en los elementos (de izquierda a derecha) dentro de un periodo.

Los elementos de la clase B se llaman *elementos de transición.* Todos los elementos de transición son metales, y en la mayoría de los casos tienen uno o dos electrones en la capa de valencia. (En estos elementos, algunos electrones se encuentran en capas electrónicas más distantes antes de que las más profundas se llenen.)

En esta tabla periódica se usan los colores para representar información sobre la fase (sólida, líquida o gaseosa), en la que existe el elemento puro bajo condiciones normales (25° C y 1 atm de presión). Si el símbolo del elemento es negro, entonces el elemento existe como gas, si es azul oscuro, es líquido; y si es rojo, gas. Si el símbolo del elemento es verde, el elemento no existe en la naturaleza y tiene que crearse por algún tipo de reacción nuclear.

Apéndice C

INFORMACIÓN CLAVE SOBRE LAS VITAMINAS Y MUCHOS MINERALES ESENCIALES

Vitamina/ mineral	Fuente alimenticia principal	Funciones principales	Signos de deficiencia severa y prolongada	Signos de exceso extremo
LIPOSOLUBLES				
A	Leche enriquecida, queso, mantequilla, huevos, hígado, frutas y verduras de color naranja intenso, verduras de hoja verde oscuro.	Fomenta la salud de ojos, piel y huesos; síntesis hormonal.	Ceguera nocturna, queratinización de los tejidos epiteliales incluida la córnea ocular (xeroftalmia) causando ceguera permanente; descamación cutánea; aumento de la susceptibilidad a la infección.	Dolor en articulaciones, piel seca e irritada, labios cortados, náuseas y vómitos, pérdida de peso.
D	Leche enriquecida, huevo, hígado (la dieta no es siempre tan importante como la exposición solar)	Fomenta la absorción y uso del calcio y fósforo (huesos y dientes fuertes)	Raquitismo (deformidades óseas) infantil; osteomalacia (reblandecimiento óseo) en adultos.	Calcificación de tejidos blandos, piedras en el riñón, fatiga.
E	Aceites vegetales, yema de huevo, productos de cereales enteros, verduras de hoja verde oscuro.	Antioxidante para prevenir el daño de la membrana celular.	Posible anemia y efectos neurológicos.	Generalmente no tóxicos; vértigos, debilidad, puede empeorar el defecto de coagulación con la falta de vitamina K.
K	Verduras de hoja verde oscuro, col, coliflor, hígado.	Ayuda a la formación de ciertas proteínas, especialmente las de la coagulación sanguínea.	Coagulación sanguínea anormal, causando sangrado intenso de las heridas.	Daño hepático y anemia, interferencia con medicamentos anticoagulantes.
HIDROSOLUBLES				
Tiamina (B_1)	Cerdo, carnes orgánicas, legumbres, cacahuetes, productos a base de cereales enteros o enriquecidos.	Coenzima usada en el metabolismo energético.	Cambios nerviosos, algunas veces edema, daños cardíacos, beriberi.	Pulso acelerado, debilidad, dolor de cabeza, insomnio.
Riboflavina (B_2)	Productos lácteos, productos a base de cereales enteros o enriquecidos, verduras de hoja verde.	Coenzima usada en el metabolismo energético.	Erupción cutánea, sensibilidad ocular al sol.	Generalmente no es tóxica.
Niacina	Nueces, legumbres, productos a base de cereales enteros o enriquecidos, carnes, pescado, todos los alimentos proteicos.	Coenzima usada en el metabolismo energético.	Debilidad, vértigos, confusión, diarrea, erupción.	Eritema en la cara, cuello, manos; daño hepático potencial, hinchazón en lengua, presión arterial baja.
B_6	En general, alimentos ricos en proteínas.	Coenzima usada en el metabolismo de los aminoácidos.	Trastornos nerviosos, cutáneos y musculares; anemia.	Daños nerviosos, debilidad, hinchazón.
Ácido fólico	Verduras de hoja verde, zumo de naranja, nueces, legumbres, cereales.	Coenzima usada en el metabolismo del DNA y RNA.	Anemia megaloblástica (glóbulos rojos grandes e inmaduros); molestias digestivas.	Oculta la deficiencia de vitamina B_{12}; interfiere con medicamentos que controlan epilepsia, diarrea, insomnio.
B_{12}	Carne, pescado, aves de corral, leche, queso, huevos.	Coenzima usada en el metabolismo del DNA y RNA, ayuda a mantener las neuronas.	Anemia megaloblástica, fatiga.	Se cree que no es tóxica.
Ácido pantoténico	Carne, huevos; lo contienen muchos alimentos.	Coenzima usada en el metabolismo energético.	Fatiga, vómitos.	Generalmente no tóxico, a veces provoca diarrea.
Biotina	Hígado, yema de huevo, verduras verdes, la contienen muchos alimentos.	Coenzima usada en el metabolismo energético, síntesis de grasas.	Dermatitis seborreica, pérdida de apetito, náuseas.	Se cree que no es tóxica.

INFORMACIÓN CLAVE SOBRE LAS VITAMINAS Y MUCHOS MINERALES ESENCIALES
(Continuación)

Vitamina/ mineral	Fuente alimenticia principal	Funciones principales	Signos de deficiencia severa y prolongada	Signos de exceso extremo
C (ácido ascórbico)	Cítricos, verduras de hoja verde oscuro, brócoli, col, coliflor, fresas, melones, tomates, patatas.	Funciona en la síntesis del colágeno; es un antioxidante; ayuda en la eliminación de toxinas; mejora la absorción del hierro.	Escorbuto, puntos rojo purpúreos (hemorragia local); debilidad, retraso en la cicatrización; trastorno de la respuesta inmunológica.	GI alterado, fatiga; altera ciertas pruebas de laboratorio.
Calcio	Productos lácteos, verduras de hoja verde oscuro, brócoli, gambas, salmón, almejas, zumo de naranja enriquecido, legumbres, tofu.	Formación ósea y dental; coagulación sanguínea; función muscular; transmisión nerviosa; presión sanguínea.	Crecimiento anormal infantil; pérdida ósea (osteoporosis) en adultos.	Excreción excesiva de calcio; disminución de la absorción de otros minerales y daño hepático.
Fósforo	Productos lácteos, carne, aves de corral, huevos, legumbres, nueces.	Formación ósea y dental; equilibrio acidobásico; componente de coenzimas.	Debilidad, desmineralización ósea.	Disminución de la absorción de algunos minerales, como el calcio.
Magnesio	Cereales enteros, nueces, legumbres, verduras de hoja verde oscuro.	Componente de enzimas; formación ósea y dental.	Debilidad, retraso del crecimiento infantil, confusión.	Toxicidad desconocida, pero en grandes cantidades puede provocar diarrea.
Azufre	Aminoácidos que contengan azufre en las proteínas de la dieta.	Componente de cartílagos, tendones y proteínas.	(Relacionado con la deficiencia de proteínas.)	La ingesta de aminoácidos con excesivo azufre conlleva un crecimiento pobre; daño hepático.
Sodio	Sal en la mayoría de alimentos: salsa de soja, carnes curadas, escabeches, sopas en lata, queso procesado.	Equilibrio hídrico, transmisión de impulsos nerviosos.	Calambres musculares, disminución del apetito, debilidad.	Presión sanguínea alta en algunas personas.
Potasio	Carne, leche, muchas frutas y verduras, legumbres, plátanos.	Equilibrio hídrico, función nerviosa y muscular.	Debilidad muscular; fatiga, confusión.	Debilidad muscular, paro cardíaco.
Cloro	(Igual que el sodio.)	Desempeña una función en el equilibrio acidobásico; formación de ácido gástrico.	Calambres musculares, disminución del apetito, crecimiento infantil lento.	Vómitos.
Hierro	Carne roja y orgánica, yema de huevo, legumbres, cereales y panes enriquecidos, verduras de hoja verde, frutos deshidratados.	Componentes de la hemoglobina y enzimas.	Anemia, debilidad, infecciones, fatiga, membranas oculares pálidas.	Agudo: *shock,* muerte. Crónico: daño hepático, fallo cardíaco.
Yodo	Marisco, sal yodada.	Componente de las hormonas tiroideas.	Hipertrofia tiroidea, aumento de peso, retraso infantil mental y físico.	Bocio.
Flúor	Agua fluorada y pastas de dientes; mariscos.	Formación ósea y dental.	Caries con mayor frecuencia.	Agudo: molestias digestivas. Crónico: dientes manchados, deformación esquelética.
Zinc	Carne, pescado, aves de corral, cereales y panes de grano entero, legumbres, nueces.	Componente de enzimas; factor de crecimiento, producción de insulina; creación de esperma.	Retraso del crecimiento, dermatitis seborreica, fallo reproductivo, alteración de la función inmunitaria, déficit del gusto y el tacto.	Agudo: náuseas, vómitos, diarrea. Crónico: efectos adversos en el metabolismo del cobre, anemia, y función inmunitaria.
Selenio	Marisco, carne, cereales enteros.	Propiedades antioxidantes; funciona en conexión estrecha con la vitamina E.	Enfermedades cardíacas.	Trastorno del sistema nervioso y digestivo; pérdida del cabello.
Cobre	Crustáceos, nueces, legumbres, carnes orgánicas.	Componente de enzimas, producción de hemoglobina.	Anemia, cambios óseos y cardiovasculares.	Vómitos, diarrea.
Cromo	Carne, aceite vegetal, cereales enteros.	Involucrado en el metabolismo energético y de la glucosa; asociado con la hormona de la insulina.	Reducción del metabolismo de la glucosa.	Daños renales y pulmonares (sólo a la exposición profesional).
Manganeso	Nueces, cereales enteros, verduras y frutas.	Componente de enzimas.		Daño del sistema nervioso central (exposición profesional).
Molibdeno	Carne orgánica, legumbres, cereales.	Componente de enzimas.	Trastorno de la eliminación de nitrógeno.	Inhibición de enzimas; efectos adversos en el metabolismo del cobre.

Fuente: adaptado de *www.wvda.org/nutrient/* © 2001 West Virginia Dietetic Association. Todos los derechos reservados.

Apéndice D

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE)

CAPÍTULO 1

¿Lo has entendido?

1. La anatomía y la fisiología están relacionadas. Una función determinada sólo puede producirse si lo permite la estructura correspondiente. **2.** El estómago está en el nivel orgánico de organización estructural. La glucosa está en el nivel químico. **3.** Estos órganos pertenecen al aparato respiratorio. **4.** La supervivencia también depende de la capacidad de mantener las fronteras, de moverse, responder a estímulos y de reproducirse. **5.** Todas las reacciones químicas que tienen lugar en el organismo y que liberan la energía contenida en los alimentos necesitan oxígeno. **6.** No. Significa que varían dentro de un margen estrecho y regulado. **7.** La sed es parte de un mecanismo de retroalimentación negativa. La sed nos incita a beber líquidos (respuesta), lo que a su vez hace que la sensación de sed disminuya y desaparezca. Si se tratara de un mecanismo de retroalimentación positiva, aún tendríamos más sed (el estímulo para beber aumentaría). **8.** Casi todas las descripciones del cuerpo con términos anatómicos se refieren a las áreas corporales como si el cuerpo estuviera en la posición anatómica, independientemente de su posición real. **9.** El área axilar es la axila. El área acromial es el extremo del hombro. **10.** Una sección coronal o frontal cortaría el cerebro en una parte anterior y otra posterior. **11.** Para separar la cavidad torácica de la abdominal se realizaría una sección transversal (u horizontal). **12.** De estos órganos, sólo la médula espinal está en la cavidad dorsal del cuerpo.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** a, b, c, d; **3.** c; **4.** superior, profunda, proximal, lateral, medial, posterior; **5.** e, c, i, f, h, a, b, d, g; **6.** c; **7.** c; **8.** c.

CAPÍTULO 2

¿Lo has entendido?

1. Los cambios químicos implican la formación o rotura de enlaces. El resultado es una sustancia diferente. Por ejemplo, cuando el oxígeno se une al hierro, se forma óxido de hierro (herrumbre, óxido). Un cambio físico no produce una nueva sustancia, sólo cambia sus propiedades físicas (temperatura, estado, color, etc.). Por ejemplo, cortar una barra de hierro en trozos más pequeños. **2.** La materia es la sustancia de los objetos vivos e inertes. La energía es la capacidad de hacer un trabajo o de poner la materia en movimiento. **3.** Cada vez que la energía cambia de una forma a otra, se libera calor al ambiente (se pierde), que no se puede utilizar. **4.** Carbono, oxígeno, hidrógeno y nitrógeno. **5.** Un átomo es la partícula más pequeña de un elemento que conserva las propiedades del elemento. **6.** El número atómico de ese átomo (n.º de p) es 4; su masa atómica (n + p) es de 9. **7.** Radioisótopo. **8.** Una molécula está formada por dos o más átomos unidos químicamente. **9.** Una molécula de un elemento es una combinación química de dos o más átomos del mismo tipo. En una molécula de un compuesto, los átomos son diferentes. **10.** En los enlaces iónicos los electrones se transfieren completamente de un átomo al otro. En los enlaces covalentes, los átomos comparten uno o más pares de electrones. **11.** Enlaces de hidrógeno. **12.** Reacción de descomposición. **13.** Las flechas dobles indican que la reacción es reversible. **14.** La gran capacidad calórica del agua impide cambios bruscos de la temperatura corporal. **15.** Los ácidos son donantes de protones. **16.** Un pH de 11 es básico. **17.** Todas las reacciones químicas del organismo tienen lugar en un medio acuoso. **18.** Las unidades estructurales de los hidratos de carbono son los monosacáridos. Las de las proteínas son los aminoácidos. **19.** Los triglicéridos son muy abundantes en el tejido graso subcutáneo. Los fosfolípidos se encuentran en abundancia en las membranas celulares. **20.** El DNA contiene las bases A, T, G y C, y el azúcar desoxirribosa. **21.** El ATP es la forma de energía disponible inmediatamente para todas las células del organismo.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. a, c, d; **2.** a, c, e; **3.** a, b, c, d, e; **4.** c, e; **5.** b, c; **6.** d; **7.** a, b, c, d, e; **8.** c; **9.** a.

CAPÍTULO 3

¿Lo has entendido?

1. Oxígeno y carbono. **2.** Pueden conducir corrientes eléctricas y son esenciales para el funcionaminto del sistema nervioso y la activación muscular. **3.** *Célula tipo* es un concepto que describe organelas y funciones comunes a todas las células. **4.** Es el centro de control de la célula y es necesario para la división celular. **5.** La envoltura nuclear es la doble membrana que rodea al núcleo. **6.** Los fosfolípidos tienen regiones polares

continúa

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

("cabezas") y no polares ("colas"). Las polares se alinean con las polares (agua y otras moléculas polares dentro y fuera de la célula). Las no polares se alinean con las no polares en el interior de la membrana. **7.** Funcionan como receptores, determinan el grupo sanguíneo y participan en las interacciones entre células. **8.** Comunicación y unión, respectivamente. **9.** El citosol es la parte líquida del citoplasma, mientras que el citoplasma comprende el citosol, los orgánulos y las inclusiones. **10.** Los lisosomas degradan bacterias, orgánulos caducos y células muertas. Los peroxisomas se encargan de distintas sustancias tóxicas dañinas y desarman los radicales libres. **11.** Las mitocondrias son el principal lugar de síntesis del ATP. **12.** Microtúbulos, filamentos intermedios (ayudan a formar los desmosomas) y microfilamentos (implicados en la movilidad celular). **13.** Fibroblastos y eritrocitos. **14.** Las neuronas recogen información y controlan las funciones corporales. **15.** El proceso de transporte es activo si utiliza energía celular (ATP) para producirse. Si la fuente de energía es la energía cinética, el proceso de transporte es pasivo. El gradiente de concentración determina la dirección en la que el agua y los solutos se mueven por difusión. La dirección del movimiento es de una concentración alta de una sustancia determinada a otra baja. **16.** Fagocitosis. **17.** La endocitosis mediada por receptores. **18.** El DNA tiene doble hebra. Cuando se replica, cada hebra sirve de plantilla para construir una hebra complementaria. Así pues, si la hebra plantilla es ACT, la hebra complementaria formada en ese lugar será TGA. **19.** Si la citocinesis no tiene lugar, se forma una célula binucleada. **20.** El mRNA lleva la información codificada para fabricar las proteínas, desde el gen (DNA) hasta el ribosoma, donde tiene lugar la síntesis de proteínas. **21.** Transcripción y traducción. Las proteínas se sintetizan en la traducción. **22.** La forma celular y la disposición de las células (capas) son los dos criterios utilizados para clasificar los epitelios. **23.** Las glándulas exocrinas tienen conductos que transportan sus secreciones (característicamente, secreciones proteicas distintas de las hormonas) hasta una superficie libre del organismo. Las glándulas endocrinas sólo producen hormonas y carecen de conductos. **24.** Los tejidos conectivos se diferencian de otros tejidos en la matriz inorgánica que producen y que rodea a las células vivas. **25.** Los músculos cardiaco y esquelético son estriados. El músculo esquelético es voluntario. **26.** El epitelial y algunos tejidos conectivos permanecen mitóticos. **27.** Neoplasia significa "nuevo crecimiento". Es un crecimiento anómalo o tumor. **28.** La actividad endocrina tiende a disminuir con el envejecimiento.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. a; **2.** c; **3.** a, b, d; **4.** e; **5.** c; **6.** a, c; **7.** b; **8.** b; **9.** a; **10.** a; **11.** a, b, d, e; **12.** c; **13.** b.

CAPÍTULO 4

¿Lo has entendido?

1. Las membranas serosas recubren las cavidades de la porción ventral del organismo, cavidades cerradas al exterior. Las membranas mucosas recubren las cavidades corporales abiertas al exterior (cavidad respiratoria, digestiva, urinaria y de los órganos reproductores). **2.** Pleura parietal, pleura visceral, (pulmón), pleura visceral, pleura parietal, pericardio parietal, pericardio visceral, (corazón). **3.** Recubriendo una cápsula fibrosa alrededor de una articulación. **4.** La piel es la membrana epitelial que recubre la superficie corporal. *Membrana cutánea* es un sinónimo de piel, al igual que *integumento,* que significa revestimiento. El sistema integumentario consiste en la piel y sus derivados (uñas, pelo, glándulas). **5.** Tres funciones cualquiera de las reseñadas en la Tabla 4.1. **6.** Los queratocitos son el tipo celular más abundante en la epidermis. **7.** El estrato basal. **8.** Estrato córneo. **9.** La melanina, el caroteno y la hemoglobina determinan el color de la piel. **10.** Cutícula, corteza y médula. **11.** El sebo es la secreción aceitosa de las glándulas sebáceas. **12.** Ambas son soluciones salinas diluidas y contienen vitaminas y desechos. La secreción apocrina también contiene proteínas y ácidos grasos. **13.** No, la uña no volverá a crecer porque la región donde se produce el crecimiento (la matriz ungueal) se ha desprendido. **14.** Pérdida de fluidos corporales que contienen proteínas y electrolitos vitales, y las infecciones secundarias. **15.** Las quemaduras de primer grado están rojas e hinchadas pero suelen curarse en dos o tres días; sólo hay lesión epidérmica. Las quemaduras de segundo grado lesionan la epidermis y parte de la dermis, aparecen ampollas pero puede tener lugar la regeneración epitelial. Las quemaduras de tercer grado destruyen la piel en toda su profundidad. La quemadura es indolora y de color grisáceo; deben realizarse injertos. **16.** La exposición al sol. **17.** Porque las células del estrato córneo están muertas. **18.** Pérdida de la grasa subcutánea.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. c; **2.** b, e; **3.** c, e; **4.** c; **5.** a, c, d; **6.** d; **7.** c; **8.** a; **9.** 1-e, 2-d, 3-f, 4-b, 5-g, 6-c.

CAPÍTULO 5

¿Lo has entendido?

1. Los músculos utilizan los huesos como palancas, para lograr los movimientos corporales. **2.** La mayoría de los huesos largos se encuentran en las extremidades. **3.** Eje = diáfisis; extremos del hueso = epífisis. **4.** Los huesos compactos parecen sólidos y muy densos, con pocos agujeros. Las áreas de hueso esponjoso recuerdan a las vigas transversas de una casa con grandes espacios entre las espículas óseas. **5.** Membranas o cartílago. **6.** El estímulo hormonal (PTH) mantiene la homeostasis del calcio plasmático. **7.** El hueso adelgazará y se debilitará

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

porque los osteoclastos son las células destructoras de hueso. **8.** Una fractura es la rotura de un hueso. Conminutas y por compresión. **9.** Cráneo, columna vertebral y tórax óseo. **10.** Comiendo o hablando. **11.** Los maxilares. **12.** El etmoides. **13.** El frontal se une con los parietales en la sutura coronal. Los parietales se unen entre sí en la sutura sagital. **14.** Cervical, torácica, lumbar, sacra y coccígea. **15.** Todas las vértebras cervicales típicas son pequeñas, sus apófisis transversas tienen agujeros, y la apófisis espinosa está dividida en dos ramas. Las vértebras lumbares son grandes y en forma de bloque, con una apófisis espinosa poco pronunciada que se extiende hacia atrás. El cuerpo es grande y sus apófisis transversas carecen de agujeros. **16.** Las costillas verdaderas se unen directamente al esternón mediante su propio cartílago costal. Las costillas falsas se unen bien indirectamente (mediante el cartílago costal de una costilla superior), o no se unen. **17.** El odontoides permite la rotación del cráneo sobre C1. Sin que el odontoides asegure su posición, el cráneo se movería en muchas más direcciones. **18.** La clavícula se une medialmente al esternón. **19.** El húmero forma el esqueleto del brazo. **20.** Los carpianos son los pequeños huesos de la muñeca. **21.** Radio y cúbito. **22.** La cadera está formada por el ílion, el isquion y el pubis. La cintura pélvica está formada por las dos caderas. **23.** La pelvis femenina es más ancha y ligera, el ángulo púbico es menos agudo, la entrada y la salida son más anchas, y las espinas isquiáticas más cortas. **24.** La tibia y el peroné forman el esqueleto de la pierna. **25.** Pies planos. **26.** El fémur. **27.** Las articulaciones unen los huesos entre sí, haciendo a la vez que el cuerpo sea flexible. **28.** El material situado entre los extremos de los huesos que participan en la articulación: fibras de tejido conectivo en las articulaciones fibrosas y cartílago en las articulaciones cartilaginosas. **29.** La membrana sinovial recubre la cápsula articular y proporciona un lubricante a la articulación. **30.** Las articulaciones del hombro y la cadera son enartrosis. La articulación carpometacarpiana del pulgar es una articulación en silla de montar. **31.** Están presentes la curvatura torácica y la sacra. **32.** En el nacimiento, la columna del recién nacido es un arco en forma de "C", mientras que la columna vertebral de un adulto tiene otras dos curvaturas y forma de "S". **33.** Fractura por compresión; osteoporosis. **34.** Las extremidades inferiores y el esqueleto facial son los que crecen más rápido en la infancia.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. a, b, d; **2.** d; **3.** b; **4.** d; **5.** a, b, c, d, e; **6.** d; **7.** d; **8.** b, c, e; **9.** b; **10.** b; **11.** 1-a, b, 2-a, 3-a, 4-a, 5-b, 6-c, 7-c, 8-a, 9-c; **12.** a-1, b-2, c-3, d-1, e-2, f-1.

CAPÍTULO 6

¿Lo has entendido?

1. Las células de los músculos esqueléticos son alargadas y multinucleares, con estriaciones obvias. Las células cardiacas son típicamente uninucleares, ramificadas, con estriaciones menos claras pero con obvias uniones. Las células de los músculos lisos son ahusadas, uninucleares y sin estriaciones. **2.** Músculo esquelético. **3.** Rayado o con bandas = estriado. **4.** Los movimientos de los músculos esqueléticos pueden ser muy rápidos y con mucha fuerza, mientras que los movimientos de los músculos lisos suelen ser lentos y a menudo rítmicos. **5.** La alineación de las bandas en los miofilamentos es la responsable del patrón de bandas en las células en los músculos esqueléticos. **6.** La terminal axonal de una motoneurona y el sarcolema de la célula muscular esquelética. **7.** Los iones de calcio provocan el deslizamiento de los miofilamentos. **8.** Los iones de sodio se introducen en la célula durante la generación de un potencial de acción. **9.** Sacar un cubo de un pozo. **10.** Fosforilación del ADP por parte del CP, ATP almacenado, y el ATP generado mediante la oxidación de la glucosa. **11.** El ATP almacenado. **12.** Contracción isométrica. **13.** El déficit de oxígeno aparece cuando una persona no es capaz de inhalar oxígeno lo suficientemente rápido para mantener los músculos provistos de todo el oxígeno que necesitan cuando están trabajando enérgicamente. **14.** Los ejercicios de resistencia provocan un aumento del tamaño muscular. **15.** Abducción. **16.** Flexión y extensión. **17.** Tibial anterior: músculo que cubre la tibia anteriormente. Erector de la espina dorsal: músculo que endereza la columna vertebral. Recto abdominal: músculo que discurre a lo largo del abdomen, verticalmente. **18.** Circular. **19.** Estabilizan o colaboran en la actividad del motor principal. **20.** El frontal eleva las cejas. **21.** El masetero y el temporal son sinérgicos en el cierre de la mandíbula. **22.** Erectores de la espina dorsal. **23.** Es como un contrachapado. Los distintos músculos abdominales discurren en varias direcciones por todo el abdomen, haciendo que la pared abdominal sea muy fuerte. **24.** El dorsal ancho. **25.** El tríceps braquial. **26.** El cuádriceps en la parte anterior del muslo. **27.** El glúteo medio y el deltoides en el hombro. **28.** Sóleo y gastrocnemio. Realizan la flexión plantar del pie. **29.** Las fibras nerviosas deben mielinizarse. **30.** El ejercicio retrasa o reduce la pérdida normal de masa muscular que ocurre en el envejecimiento.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. c, e; **2.** a; **3.** c; **4.** b; **5.** a, b, c, d; **6.** a, b; **7.** a, b, d; **8.** a, b, d.

continúa

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

CAPÍTULO 7

¿Lo has entendido?

1. SNC = encéfalo y médula espinal. SNP = nervios que se prolongan desde el SNC y hacia él. **2.** Los astrocitos son las células más numerosas de la neuroglía. Los oligodendrocitos producen la mielina. **3.** Las células de la neuroglía se pueden dividir. La mayoría de las neuronas no pueden. Una característica de las células cancerosas es su división descontrolada. **4.** Un haz es un conjunto de fibras nerviosas en el SNC. Un nervio es un grupo de fibras nerviosas en el SNP. **5.** Un ganglio es una agrupación de somas neuronales en el SNP; un núcleo es un conjunto de somas neuronales en el SNC. **6.** Las dendritas conducen los impulsos nerviosos hacia el soma neuronal; la terminal axónica libera neurotransmisores. **7.** El axón que conduce a 40 m/s. **8.** Un potencial graduado es una corriente eléctrica local que se extingue con la distancia. Un potencial de acción es una corriente que se regenera continuamente a lo largo de toda la extensión del axón, y no se extingue. **9.** Por la química, mediante la liberación de un neurotransmisor y la unión del neurotransmisor a la membrana postsináptica. **10.** Dendritas. **11.** Un reflejo es una respuesta instantánea, involuntaria y predecible, a un estímulo. **12.** La corteza, la sustancia blanca y los núcleos basales. **13.** Fibras nerviosas mielínicas. **14.** El tronco encefálico controla esas actividades vitales. **15.** El cerebelo proporciona un control temporal exquisito a la actividad de los músculos esqueléticos, y colabora en el control del equilibrio. **16.** Diencéfalo. **17.** Ventrículos. **18.** Barrera hematoencefálica. **19.** Aracnoides. **20.** Contusión. **21.** Somas de interneuronas y neuronas motoras. **22.** Las vías sensitivas son ascendentes. **23.** Porque el conjunto de nervios en ese lugar se parece a una cola de caballo (*cauda equina* en latín). **24.** Alrededor de cada fibra nerviosa. **25.** Nervio vago. **26.** Un plexo es una compleja red de nervios. **27.** El nervio ciático, del plexo sacro. **28.** Los órganos viscerales (músculo liso y cardiaco, y glándulas) están inervados por el SNA. **29.** La vía motora del SNA está formada por dos neuronas, desde el SNC hasta el órgano inervado. En el caso del sistema nervioso somático sólo hay una neurona motora. **30.** La división simpática. **31.** No pueden regular su temperatura corporal hasta que el hipotálamo madure. **32.** Es una hipotensión causada por un cambio rápido de postura, como estar acostado y levantarse rápidamente. El sistema nervioso simpático, que regula la presión arterial, pierde eficacia con el envejecimiento.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. b; **2.** a, b, c; **3.** d; **4.** d; **5.** c; **6.** 1-d, 2-h, 3-e, 4-g, 5-b, 6-f, 7-i, 8-a; **7.** a; **8.** c; **9.** a, c; **10.** a, c; **11.** d; **12.** d.

CAPÍTULO 8

¿Lo has entendido?

1. Los párpados protegen los ojos. **2.** Las glándulas lacrimales producen lágrimas. **3.** Las lágrimas son una solución salina diluida que contiene lisozima y anticuerpos. **4.** Dirigen el globo ocular hacia aquello que se desea mirar. **5.** El punto ciego no contiene fotorreceptores, es el lugar por donde el nervio óptico sale del ojo. **6.** Ambas contienen pigmentos, que impiden la diseminación de la luz en el ojo. **7.** Los bastones tienen un segmento externo en forma de cayado que contiene el fotopigmento, mientras que los conos tienen un segmento externo más corto y cónico. Los bastones reaccionan en condiciones de poca luminosidad y son los responsables de la visión en blanco y negro; los conos necesitan luz brillante y proporcionan la visión del color. **8.** Los medios refractarios son la córnea, el humor acuoso, el cristalino y el humor vítreo. **9.** Acomodación. **10.** Los nervios ópticos salen del globo ocular y la porción medial de cada nervio óptico se separa y cruza al lado opuesto, juntándose con las fibras de la mitad externa del otro ojo para formar las cintillas ópticas. **11.** Provoca constricción pupilar cuando la luz es muy brillante. La estimulación por luz intensa puede dañar los fotorreceptores. **12.** El oído externo y el medio se encargan únicamente de la audición. **13.** La cadena de huesecillos (martillo, yunque y estribo). **14.** Equilibrio. **15.** Los receptores dinámicos situados en los canales semicirculares (cresta acústica o ampollar). **16.** Los otolitos son minúsculas piedrecitas formadas por sales de calcio, situados en las máculas del vestíbulo. Responden a estímulos de equilibrio estático, relacionados con la posición de la cabeza en el espacio. **17.** Desde la membrana timpánica a la cadena de huesecillos y desde ahí a los medios líquidos de la cóclea. **18.** Nervio coclear (división del VIII par craneal). **19.** Cerca de la ventana oval. **20.** La sordera neurosensitiva está causada por la lesión de las estructuras nerviosas implicadas en la audición (nervio coclear, área auditiva del encéfalo), mientras que la sordera de conducción resulta de cualquier impedimento a que las vibraciones sonoras alcancen la cóclea (cerumen, fusión de los huesecillos, líquido en el oído medio). **21.** Quimiorreceptores, porque responden a sustancias químicas en una solución. **22.** En la lengua. **23.** Los receptores del olfato están situados en la parte superior de la cavidad nasal. Olisquear hace que el aire suba. **24.** Presbicia. **25.** La vista. **26.** Sordera senil.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** b, c; **3.** b, d; **4.** c; **5.** b; **6.** a, c; **7.** a, b, c, d; **8.** a, c; **9.** b; **10.** a, b, c.

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

CAPÍTULO 9

¿Lo has entendido?

1. El sistema endocrino cumple las órdenes mediante las hormonas transportadas por la sangre; este proceso es lento. El sistema nervioso utiliza veloces mensajes eléctricos, que son mucho más rápidos, permitiéndote retirar el pie del cristal con mucha más rapidez. **2.** Una hormona es un mensajero químico utilizado por el sistema endocrino. El órgano diana de una hormona son las células o tejidos específicos influenciados por la hormona. **3.** Porque no es el mensajero inicial, un ligando que se une a un receptor en la membrana plasmática celular y activa las reacciones que conducen a la síntesis del segundo mensajero en la célula. **4.** Los órganos endocrinos son estimulados por hormonas, por otras sustancias químicas no hormonales y por el sistema nervioso. **5.** La pituitaria posterior es un área de almacenamiento y liberación de las hormonas enviadas allí por el hipotálamo. **6.** Las glándulas endocrinas carecen de conductos y liberan sus productos hormonales directamente al líquido extracelular. **7.** Las hormonas trópicas estimulan ciertos órganos endocrinos para que secreten sus hormonas. **8.** Diabetes insípida, en la que se excretan grandes cantidades de orina por la hiposecreción de ADH. **9.** Las glándulas paratiroides están situadas en la glándula tiroides. **10.** La PTH, producida por las glándulas paratiroides, aumenta las concentraciones plasmáticas de calcio. **11.** La calcitonina, producida por las células parafoliculares de la glándula tiroides, disminuye las concentraciones plasmáticas de calcio. **12.** La hormona tiroidea funcional incorpora la yodina en su estructura. **13.** La aldosterona estimula los riñones para que se reabsorba más sodio. **14.** Elevados por el estrés. Cuando nos estresamos, se producen mayores cantidades de glucocorticoides (hormonas de la corteza suprarrenal) y de adrenalina y noradrenalina (hormonas de la médula suprarrenal). Ambos grupos de hormonas promueven el aumento de los niveles de glucosa en sangre. **15.** Las hormonas sexuales, fundamentalmente los andrógenos. **16.** La insulina estimula la absorción de glucosa por parte de las células. **17.** La melatonina, producida por la glándula pineal. **18.** La limosina programa los linfocitos T, que básicamente dirigen las respuestas inmunitarias. **19.** Estrógenos. **20.** Estómago e intestino delgado. **21.** La placenta. **22.** Los ovarios.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** b; **3.** a, c; **4.** c; **5.** a, b, d; **6.** a, b, c, d; **7.** a, b, c; **8.** b; **9.** b.

CAPÍTULO 10

¿Lo has entendido?

1. El hígado es la principal fuente de proteínas plasmáticas. **2.** Eritrocitos, leucocitos y plaquetas. **3.** El color de la sangre cambia según la cantidad de oxígeno que transporta. De más a menos oxígeno, la sangre pasa de rojo escarlata a rojo azulado. **4.** La hemoglobina transporta el oxígeno en la sangre, así como una pequeña cantidad de dióxido de carbono. **5.** Los linfocitos son los principales responsables de la inmunidad. **6.** Las infecciones aumentan el número de leucocitos, de modo que estarían más cerca de 15.000/mm^3. **7.** Anemia. **8.** El hemocitoblasto da lugar a todos los elementos formes. **9.** La ausencia de núcleo; por lo tanto, no pueden realizar la transcripción y traducción para producir proteínas (enzimas y otras). **10.** La célula madre (megacariocito) sufre numerosas mitosis sin citocinesis, formándose una gran célula multinucleada que después se fragmenta en plaquetas. **11.** La inactividad, que provoca estancamiento de la sangre, y cualquier factor que altere el endotelio de los vasos sanguíneos (laceración, ateroesclerosis, traumatismos). **12.** En los autoantígenos (aglutinógenos) que portan los eritrocitos. **13.** Una reacción de transfusión en la que los eritrocitos se destruyen y la hemoglobina entra en el torrente sanguíneo, lo que puede bloquear el riñón. **14.** O positivo. **15.** Un antígeno es una sustancia extraña al organismo que activa el sistema inmunitario y es atacada por él. Un anticuerpo es una proteína producida por las células inmunitarias que se une a un antígeno específico y lo inactiva en parte. **16.** La hemoglobina fetal tiene mayor capacidad de unirse al oxígeno y la unión es más fuerte que en la hemoglobina adulta. **17.** La leucemia, la anemia perniciosa y los trastornos de la coagulación son especialmente frecuentes en los ancianos.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. a, b, d; **2.** a, b, c , d; **3.** d; **4.** c; **5.** a, d; **6.** a; **7.** b, c; **8.** c; **9.** b, c, d; **10.** a, d; **11.** a; **12.** b.

CAPÍTULO 11

¿Lo has entendido?

1. El corazón está situado en el mediastino, entre los pulmones. **2.** La circulación pulmonar se encarga únicamente del intercambio gaseoso. En los pulmones, la sangre se carga de oxígeno y se descarga de dióxido de carbono. La circulación sistémica abastece a todos los órganos de sangre oxigenada. **3.** Las válvulas cardiacas hacen que el flujo sanguíneo vaya hacia delante en el corazón. **4.** Las arterias cardiacas abastecen de oxígeno al miocardio (músculo cardiaco). Si la circulación fracasa, el

continúa

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

corazón fracasa. **5.** El sistema de conducción intrínseco del corazón coordina la acción de las cámaras cardiacas y hace que el corazón lata más rápido de lo que lo haría sin ese sistema. **6.** El ventrículo izquierdo. **7.** La acción de las válvulas cardiacas. **8.** Gasto cardiaco = cantidad de sangre expulsada de cada lado del corazón en un minuto. **9.** La fiebre aumenta la frecuencia cardiaca porque la velocidad del metabolismo del músculo cardiaco aumenta. **10.** Es una vena. **11.** La presión sanguínea en las venas es mucho menor que en las arterias porque las venas están más lejos en el recorrido de la circulación. Por este motivo, las venas necesitan mecanismos adicionales para forzar a la sangre a regresar al corazón. **12.** Las paredes de los capilares sólo están compuestas de la capa más interna, la íntima, que es muy fina. Los capilares son los vasos que realizan el intercambio entre la sangre y las células de los tejidos, de modo que lo deseable son las paredes finas. **13.** En las extremidades inferiores. **14.** En las extremidades superiores. **15.** La vena portal hepática. **16.** La presión sanguínea es mucho menor en la circulación pulmonar. Las arterias pulmonares llevan sangre pobre en oxígeno y rica en dióxido de carbono, mientras que las venas pulmonares llevan sangre rica en oxígeno y pobre en dióxido de carbono. En las arterias y venas de la circulación sistémica sucede al revés. **17.** El conducto venoso es una derivación en el hígado fetal. Como el hígado materno también trabaja para el feto, no es necesario que todo el hígado fetal esté continuamente perfundido. **18.** La arteria radial en la muñeca, la arteria femoral en la ingle y la arteria carótida común en el lado externo del cuello. **19.** Disminuye desde el corazón hasta las venas cavas. **20.** Las hemorragias reducen inicialmente la presión arterial porque disminuye el volumen sanguíneo. **21.** El líquido penetra en el extremo venoso de un lecho capilar.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** b; **3.** c; **4.** a, c; **5.** c; **6.** a, c; **7.** d; **8.** a, c; **9.** d; **10.** a; **11.** b; **12.** a, c, d; **13.** b; **14.** a, b, c; **15.** c; **16.** b; **17.** d; **18.** b; **19.** b.

CAPÍTULO 12

¿Lo has entendido?

1. Los vasos linfáticos recogen los líquidos y las proteínas filtradas desde la sangre al espacio intersticial.
2. Los capilares linfáticos tienen extremos ciegos y no reciben vascularización arterial como los capilares sanguíneos. También tienen miniválvulas en forma de aleta que los hacen mucho más permeables que los capilares sanguíneos. **3.** La mayor densidad de ganglios linfáticos se encuentra en las regiones axilar, inguinal y cervical.
4. El número de vasos aferentes que entran en el ganglio es mayor que el número de vasos eferentes que abandonan el ganglio por el hilio. Por este motivo, el flujo linfático se estanca parcialmente. **5.** El bazo destruye los eritrocitos envejecidos. **6.** Tejido linfoide asociado a mucosas: las amígdalas en la garganta y las placas de Séller en la pared intestinal, que actúan impidiendo que los patógenos penetren en el organismo a través de las mucosas. **7.** Las defensas innatas son inespecíficas y siempre están preparadas para defender al organismo; incluyen las membranas intactas (mucosas, piel), la respuesta inflamatoria, y varios tipos de células y sustancias químicas protectoras. Las defensas adaptativas deben programarse y se dirigen específicamente contra patógenos o antígenos concretos. **8.** Rubefacción, calor, hinchazón (edema) y dolor. **9.** Se une a las células extrañas y, al activase, los complejos de ataque de membrana (MAC) se insertan en la membrana de la célula extraña y provocan lesiones que permiten la entrada de agua y causan la lisis celular. **10.** Los virus provocan la formación de interferón. **11.** Un autoantígeno es una proteína del organismo, habitualmente situada en la membrana plasmática, que es extraña para cualquiera excepto para uno mismo. Un antígeno es una sustancia extraña al organismo. **12.** Los linfocitos B se encargan de la respuesta humoral fabricando anticuerpos. Los linfocitos T se encargan de la respuesta celular mediante la activación de los linfocitos B y los T citotóxicos y la estimulación de la respuesta inflamatoria. **13.** En el timo. **14.** Presentan los antígenos a los linfocitos T. **15.** La zona variable es la región que se une al antígeno. **16.** La IgA, un dímero. **17.** Los anticuerpos se unen a los virus y las toxinas bacterianas, impidiendo así que ataquen al organismo. **18.** Las células plasmáticas son las que más anticuerpos producen; su número estaría aumentado.
19. Los linfocitos T tienen que unirse tanto a un antígeno como a una autoproteína en la célula presentadora de antígenos. **20.** El linfocito T citotóxico inserta perforinas (sustancias químicas tóxicas) en la membrana plasmática del antígeno extraño, que a continuación se llena de orificios. Después las granzimas, enzimas de los gránulos citoplásmicos del linfocito T, penetran en la célula extraña y la matan. **21.** La endentecen o la detienen una vez que el "enemigo" ha sido derrotado. **22.** Aloinjerto. **23.** Una respuesta inmunitaria exagerada contra una sustancia inocua por lo demás, que causa lesiones al organismo.
24. En el *shock* anafiláctico, la histamina liberada provoca constricción de los bronquiolos, vasodilatación repentina y pérdida de líquidos. **25.** Producción o funcionamiento anormal de las células inmunitarias o del complemento.
26. Déficit congénito de las células inmunitarias o del complemento, y las inmunodeficiencias adquiridas, de las que la más frecuente es el sida.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. c; **2.** a; **3.** b; **4.** a, c; **5.** a, d; **6.** b, d; **7.** c; **8.** a, c; **9.** b; **10.** b, d; **11.** d; **12.** a, b, c, d; **13.** a.

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

CAPÍTULO 13

¿Lo has entendido?

1. Porque la mucosa respiratoria se apoya sobre venas de finas paredes que calientan el aire entrante, el moco producido por las glándulas mucosas humedece el aire y atrapa el polvo y bacterias. La mucosa oral no realiza ninguna de estas funciones. **2.** Las células ciliadas de la mucosa mueven la capa de moco contaminado lejos de los pulmones y hacia la garganta, para que pueda ser deglutido. **3.** Cavidad nasal, faringe, laringe, tráquea, bronquios, bronquiolos y alvéolos. **4.** El derecho, porque es más ancho y recto. **5.** Las vías de conducción llevan el aire. El tejido elástico permite que los pulmones se empequeñezcan pasivamente en la espiración, ahorrando energía. **6.** Bronquiolos respiratorio, conducto alveolar, saco alveolar y un alvéolo individual. **7.** El intercambio gaseoso entre el ambiente y la sangre: entra oxígeno, sale dióxido de carbono. **8.** El aumento de la presión del aire en los pulmones al empequeñecer éstos. **9.** La VC es la mayor, el TV es el menor. **10.** Alrededor de 350 ml alcanzan los alvéolos. **11.** El pulmón izquierdo se ha colapsado porque la presión del espacio intrapleural (habitualmente negativa) se ha igualado con la presión atmosférica. **12.** Difusión. **13.** Como ión bicarbonato. **14.** La cianosis es una coloración azulada de la piel y las uñas debida a una inadecuada oxigenación de la sangre. **15.** El bulbo. **16.** Tiene EPOC, enfisema. **17.** Los alvéolos pulmonares se colapsarán con cada respiración; síndrome de distrés respiratorio del recién nacido (IRDS). **18.** Posibles causas son problemas del control nervioso; infección vírica; anomalías del ritmo cardiaco, lo que significa que podría estar implicado un factor genético.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** d; **3.** b; **4.** b; **5.** b, c; **6.** c, d; **7.** b.

CAPÍTULO 14

¿Lo has entendido?

1. Boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado, intestino grueso y ano. **2.** La digestión de las proteínas comienza en el estómago. **3.** El moco alcalino protege la pared gástrica. El factor intrínseco es necesario para la absorción intestinal de vitamina B_{12}. **4.** El esfínter pilórico. **5.** Absorción de agua y de algunas vitaminas por parte de las bacterias residentes. **6.** Las vellosidades son extensiones de la mucosa del intestino delgado. Aumentan enormemente la superficie del intestino delgado para la absorción de nutrientes. **7.** El almidón. La saliva contiene amilasa. **8.** 32 dientes permanentes. **9.** La bilis, secretada por el hígado, actúa como un detergente para transformar mecánicamente grandes glóbulos de grasa en otros más pequeños, que a continuación sufren digestión enzimática. **10.** El páncreas. **11.** La digestión mecánica degrada el alimento físicamente, aplastándolo y golpeándolo. La digestión química utiliza enzimas para romper los enlaces químicos de las moléculas del alimento y liberar sus unidades. **12.** Los aminoácidos. **13.** Ingestión, digestión, absorción y defecación. **14.** La pepsina, la principal enzima del estómago, necesita un medio ácido para funcionar. **15.** El alimento ha pasado a la vía respiratoria (tráquea) en vez de al aparato digestivo (esófago). **16.** Frutas, vegetales y cereales. **17.** Es una fuente de fibra, importante para desplazar las heces a lo largo del colon y para la defecación. **18.** Los aceites son grasas insaturadas. **19.** La mayoría sirve de coenzima para que las enzimas lleven a cabo reacciones metabólicas. **20.** Respiración celular. **21.** Dióxido de carbono y coenzimas reducidas. **22.** Agua y ATP. **23.** Es la producción de glucosa a partir de moléculas que no son hidratos de carbono, por ejemplo, grasas y proteínas. **24.** De HDL, porque retornan al hígado para ser degradadas y eliminadas del organismo. **25.** Las grasas. **26.** Una superficie relativamente grande con respecto al volumen corporal. **27.** La vasoconstricción de los vasos sanguíneos de la piel y tiritar. **28.** Reduce la temperatura corporal. **29.** Como la fibrosis quística obstruye los conductos pancreáticos, de modo que las enzimas pancreáticas no pueden alcanzar el intestino delgado, se altera la digestión de los alimentos, y la digestión de las grasas se interrumpe casi por completo, resultando en heces grasas y la incapacidad de absorber las vitaminas liposolubles. **30.** Ningún alimento que contenga fenilalanina. **31.** Aumento de peso (grasa).

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. a, c, d; **2.** b; **3.** c; **4.** 1-e, 2-h, 3-c, 4-b, 5-g, 6-a, 7-f, 8-d; **5.** d; **6.** d; **7.** c, d; **8.** d; **9.** d; **10.** a; **11.** b; **12.** b; **13.** c.

CAPÍTULO 15

¿Lo has entendido?

1. Retroperitoneal = "detrás del peritoneo o en la parte posterior del mismo". **2.** La grasa ayuda a mantener los riñones fijos a la pared del tronco. Cuando perdió peso, la grasa disminuyó y los riñones cayeron a una posición inferior, provocando que los uréteres descrieran una línea curva y, así, inhibieran el flujo de orina. **3.** Corteza, médula y pelvis. **4.** La nefrona. **5.** Los túbulos renales realizan la reabsorción y la secreción tubular. Los capilares peritubulares reciben el líquido, los nutrientes y los iones

continúa

RESPUESTAS A LAS PREGUNTAS DE "¿LO HAS ENTENDIDO?" Y A LAS PREGUNTAS DE REPASO (RESPUESTA MÚLTIPLE) *(CONTINUACIÓN)*

esenciales para devolverlos a la circulación general. **6.** La disminuye. **7.** La gravedad específica de la orina es mayor porque contiene más solutos que el agua. **8.** A la vejiga. **9.** Permite que aumente el volumen de la cavidad vesical para almacenar más orina. **10.** Es más larga (20 cm frente a los 3-4 cm de la uretra femenina) y transporta semen y orina. **11.** Orinar o diuresis. **12.** Excretar desechos nitrogenados y mantener el equilibrio ácido-base, hídrico y electrolítico de la sangre. **13.** La sed. **14.** La aldosterona aumenta la reabsorción del ión de sodio por parte de los túbulos renales, y el agua sigue al sodio (si es posible). **15.** Los osmorreceptores están situados en el encéfalo (hipotálamo) y responden a un cambio (aumento) de la osmolaridad plasmática. **16.** El pH homeostático de la sangre en el organismo varía entre 7,35 y 7,45. Un pH sanguíneo inferior a 7,35 se considera ácido para el funcionamiento normal del organismo. **17.** Una base débil, porque lo neutralizará atrapando únicamente los iones de hidrógeno necesarios para mantener un pH fisiológico, y no hay posibilidad de sobrepasarse y transformar el pH en fuertemente básico. **18.** Aumentará porque perderá agua con el sudor (y la orina). **19.** El equilibrio ácido-base se mantiene excretando iones de hidrógeno y reabsorbiendo iones hidróxilo. **20.** Un trastorno en un varón recién nacido en el que la uretra desemboca en la superficie ventral del pene. **21.** La necesidad imperiosa de orinar es la sensación de tener que orinar urgentemente. La polaquiuria es el trastorno en el que se evacuan pequeñas cantidades de orina frecuentemente. **22.** Por la reducción de la vejiga y la pérdida del tono vesical.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** d; **3.** b; **4.** b, c, d; **5.** a, b, c, d; **6.** d; **7.** c; **8.** c.

CAPÍTULO 16

¿Lo has entendido?

1. Los testículos producen los gametos masculinos (espermatozoides) y secretan hormonas sexuales, principalmente testosterona. **2.** Los túbulos seminíferos producen los espermatozoides. **3.** Epidídimo, conducto deferente, conducto eyaculador, y uretra (región prostática, membranosa y esponjosa). **4.** Proporcionar firmeza al pene, permitiendo que se llene de sangre, de modo que pueda servir como órgano penetrante durante la actividad sexual. **5.** El esperma consiste en los gametos masculinos que fertilizan los óvulos femeninos. El líquido seminal sirve de medio de transporte al esperma y contiene distintas sustancias que nutren y protegen al esperma o colaboran en su movimiento. **6.** Probablemente tiene hipertrofia de próstata. La próstata está situada inmediatamente por delante del recto y puede explorarse a través de la pared rectal anterior. **7.** La FSH estimula la espermatogénesis. **8.** El producto final de la mitosis son dos células diploides genéticamente idénticas entre sí y con respecto a la célula madre. El producto final de la meiosis son cuatro células, cada una con la mitad del número normal (diploide) de cromosomas. La meiosis introduce variación. **9.** Se elimina el exceso de citoplasma y el que permanece se compacta en la cabeza, en la zona intermedia y en la cola. **10.** La hormona luteinizante estimula la producción de testosterona. **11.** Los gametos femeninos (óvulos u ovocitos). **12.** El útero sirve de incubadora. La fertilización suele tener lugar en las trompas de Falopio. **13.** Folículo vesicular o de Graaf. **14.** También se producen cuerpos polares, que se deterioran y mueren porque carecen de citoplasma. **15.** La FSH estimula el desarrollo del folículo. **16.** La LH estimula la ovulación. **17.** Estrógeno. **18.** Se regenera la capa funcional del endometrio. **19.** La progesterona (1) es la responsable de la fase secretora del ciclo menstrual, (2) ayuda a preparar las mamas para la lactancia, y (3) colabora en que el músculo uterino permanezca inmóvil para mantener la gestación. **20.** Un gran porcentaje (80%) de los portadores del gen o genes alterados presentan cáncer de mama. **21.** Divisiones sucesivas que no están espaciadas por el crecimiento celular, de modo que las células empequeñecen en cada división. **21.** La placenta produce las hormonas de la gestación, proporciona oxígeno y nutrientes al feto, y elimina los desechos de la sangre fetal. **23.** Durante el embarazo, muchas mujeres padecen reflujo porque el estómago está aplastado por el feto. El estreñimiento es otro problema, porque disminuye la movilidad del aparato digestivo. La congestión nasal y las dificultades para respirar son frecuentes. **24.** Dilatación, expulsión y alumbramiento. **25.** XY; testosterona. **26.** La criptorquidia es la ausencia de descenso de los testículos hasta el escroto; infertilidad. **27.** Las infecciones vaginales (*E. Coli,* enfermedades de transmisión sexual e infecciones por hongos) pueden causar enfermedad pélvica inflamatoria. Menstruaciones anormales o dolorosas.

Preguntas de repaso (respuesta múltiple)

1. d; **2.** a; **3.** d; **4.** d; **5.** b; **6.** c, d; **7.** d; **8.** a; **9.** c; **10.** b; **11.** d; **12.** a, d; **13.** a, d.

Créditos fotográficos

Capítulo 1 1.1: Corbis. 1.6a–c arriba: Jenny Thomas, Pearson Benjamin Cummings. 1.6a centro: CNRI/SPL/Photo Researchers. 1.6b centro: Petit Format/Photo Researchers. 1.6c centro; Más de cerca, a: Howard Sochurek. Más de cerca, b: Custom Medical Stock Photography. Orientación profesional: Elena Dorfman, Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 2 2.4 izquierda: Chip Clark. 2.4 centro, derecha: Pearson Benjamin Cummings. 2.9b: George Bernard/Animals Animals. Más de cerca: Geoff Tomkinson/SPL/Photo Researchers. Orientación profesional: Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 3 3.7a: J. V. Small and G. Rinnerthaler, Austrian Academy of Sciences. 3.12b: Birgit H. Satir, Department of Anatomy and Structural Biology, Albert Einstein College of Medicine. 3.18a: G. W. Willis/Visuals Unlimited. 3.18b,e,f; 3.19a,c,g; 3.20c: Allen Bell, University of New England; Pearson Benjamin Cummings. 3.18c: Cabisco/Visuals Unlimited. 3.18d: R. Calentine/Visuals Unlimited. 3.19b,e,h; 3.20b: Ed Reschke. 3.19d: Ed Reschke/Peter Arnold. 3.19f: Carolina Biological/Visuals Unlimited. 3.20a: Eric Graves/Photo Researchers. 3.21: Biophoto Associates/Photo Researchers. Más de cerca 1: David M. Philips/Photo Researchers.
Capítulo 4 4.3: De *Gray's Anatomy*, Henry Gray, © Churchill Livingstone, UK. 4.5: Kozier, Erb, and Olivieri, *Fundamentals of Nursing*, 4e, © Pearson Benjamin Cummings, 1991. 4.6a: Cabisco/Visuals Unlimited. 4.6b: John D. Cunningham/Visuals Unlimited. 4.8: CNRI/SPL/Photo Researchers. 4.10a: Rotker/Phototake. 4.10b,c: NMSB/Custom Medical Photography. 4.11b arriba: Myrleen Ferguson/PhotoEdit. 4.11b centro: P. Marazzi/SPL/Photo Researchers. 4.11b abajo: John Meyer/Custom Medical Stock Photography. 4.12a: Bart's Medical Library/Phototake. 4.12b: P. Marazzi/SPL/Photo Researchers. 4.12c: Zeva Oelbaum/Peter Arnold. Más de cerca: Phanie/Photo Researchers. Orientación profesional: Elena Dorfman, Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 5 5.3c: Allen Bell, University of New England; Pearson Benjamin Cummings. 5.15: Reik/age fotostock. 5.20b: Shawn Miller (disección), Mark Nielsen and Alexa Doig (fotografía). 5.31: CNRI/SPL/Photo Researchers. 5.32: Carolina Biological Supply. 5.34: P. Motta, Department of Anatomy, University "La Sapienza," Rome/SPL/Photo Researchers. Más de cerca 1: John Wilson White, Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 6 6.4b: Eric Graves/Photo Researchers. 6.11a: B. Daemmrich/The Image Works. 6.11b: Vandystadt Agence De Presse/Photo Researchers. 6.13: John Wilson White, Pearson Benjamin Cummings. Más de cerca: Thinkstock/PictureQuest. Orientación profesional: Elena Dorfman, Pearson Benjamin Cummings. Tabla 6.1 izquierda: Eric Graves/Photo Researchers. Tabla 6.1 centro: Ed Reschke. Tabla 6.1 derecha: Allen Bell, University of New England; Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 7 7.4: Biophoto Associates/Photo Researchers. 7.11d: Jim Selby/SPL/Custom Medical Stock Photo. 7.13b, 7.17b: De *A Stereoscopic Atlas of Human Anatomy* de David Bassett. 7.19: Carroll H. Weiss. Más de cerca 1: Toby Talbot/Associated Press. Más de cerca 2: Hank Morgan/Photo Researchers.
Capítulo 8 8.1: Richard Tauber, Pearson Benjamin Cummings. 8.4b: De *A Stereoscopic Atlas of Human Anatomy* de David Bassett. 8.7: NMSB/Custom Medical Stock Photography. 8.8: Custom Medical Stock Photography. 8.13b: John Wilson White, Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 9 9.5a: Bill Pugliano/Getty Images. 9.5b: Chris Pizzello/AP Photo. 9.7b: Ed Reschke. 9.8, 9.9: Photo Researchers. 9.14b: Victor Eroschenko, Pearson Benjamin Cummings. Más de cerca: Lisa Pines/Getty Images.
Capítulo 10 10.2: Victor Eroschenko, University of Idaho; Pearson Benjamin Cummings. 10.3: Stan Flegler/Visuals Unlimited. 10.7: Lennart Nilsson, Boehringer Ingelheim International GmbH. 10.8: Jack Scanlon, Holyoke Community College. Más de cerca: Ed Eckstein/Phototake. Orientación profesional: Daniel M. Grossman/Phototake.
Capítulo 11 11.8: Robert Brenner/PhotoEdit. 11.9a: Gladden Willis/Visuals Unlimited. Más de cerca: Carolina Biological Supply/Phototake. Orientación profesional: Elena Dorfman, Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 12 12.7a: Lennart Nilsson, *The Body Victorious*, New York: Dell, © Boehringer Ingelheim International GmbH. 12.15a: Computer modeling and photography, A. J. Olson © The Scripps Institute. 12.CL: Eye of Science/Photo Researchers.
Capítulo 13 13.3b: SPL/Photo Researchers. 13.4a: Richard Tauber, Pearson Benjamin Cummings. 13.5b: CNRI/SPL/Photo Researchers. Más de cerca: Martin M. Rotker. Orientación profesional: Elena Dorfman, Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 14 14.4b: De *Color Atlas of Histology* de Leslie P. Garner and James L. Hiatt, © Williams and Wilkins, 1990. 14.5: De *A Stereoscopic Atlas of Human Anatomy*, de David L. Bassett. 14.20b: Stephen Frisch. Más de cerca 1, a: Javier Domingo/Phototake. Más de cerca 1, b: Oliver Meckes/Photo Researchers. Más de cerca 2: Mary Ann Chastain/AP Photo.
Capítulo 15 15.1b: Richard Tauber, Pearson Benjamin Cummings. 15.2a, 15.3d: De *A Stereoscopic Atlas of Human Anatomy*, de David L. Bassett. Más de cerca: AJ Photos/Photo Researchers.
Capítulo 16 16.5a: Manfred Kage/Peter Arnold. 16.11: C. Edleman/La Vilette/Photo Researchers. 16.14a: Spencer Grant/Stock Boston. 16.14b,c: Richard D'Amico/Custom Medical Stock Photography. 16.17: De *A Stereoscopic Atlas of Human Anatomy* de David L. Bassett. 16.18: Lennart Nilsson/Albert Bonniers Forlag. Más de cerca 2: Anthony Loveday, Pearson Benjamin Cummings. Dispositivos intrauterinos por cortesía de Planned Parenthood. Orientación profesional: Elena Dorfman, Pearson Benjamin Cummings.

Créditos de las ilustraciones

Todas las ilustraciones pertenecen a Imagineering STA Media Services, salvo las que se citan a continuación.

Capítulo 1 1.3: Adaptado de Campbell, Reece y Mitchell, *Biology*, 5e, F40.10a, © Pearson Benjamin Cummings, 1999. 1.6: Precision Graphics/Imagineering.
Capítulo 3 3.2: Carla Simmons/Kristin Mount. 3.3, 3.4, 3.7: Tomo Narashima. 3.15: Adaptado de Campbell, Mitchell, Reece, Taylor, *Biology: Concepts and Connections*, 3e, F8.6, © Pearson Benjamin Cummings, 2000.
Capítulo 4 4.1: Precision Graphics/Imagineering. 4.4: Tomo Narashima. 4.6: Precision Graphics/Imagineering.
Capítulo 5 5.3, 5.5: Carla Simmons/Imagineering. 5.7–5.9, 5.11: Kristin Mount. Más de cerca 2: Adaptado de Ranier I. Kotz, Reinhard Windhager, et al., *Nature*, Fig 1, Vol 406: 143, 13 July 2000, © Macmillan Publishers, Ltd.
Capítulo 6 6.1: Raychel Ciemma. 6.2b: Carla Simmons/Kristin Mount.
Capítulo 7 7.20, 7.21: Laurie O'Keefe/Kristin Mount. 7.23: Charles W. Hoffman/Kristin Mount.
Capítulo 8 8.2a: Adaptado de Campbell, Mitchell, Reece, Taylor, *Biology: Concepts and Connections*, 4e, F29.9d, © Pearson Benjamin Cummings, 2003. 8.2b: Charles W. Hoffman.
Capítulo 11 11.1: Wendy Hiller Gee/Kristin Mount. 11.2, 11.4: Barbara Cousins. 11.5: Barbara Cousins/Imagineering. 11.6: Barbara Cousins/Kristin Mount. 11.9: Adaptado de Tortora y Grabowski, *Principles of Anatomy and Physiology*, 9e, F21.1, New York: Wiley, © Biological Sciences Textbooks and Sandra Reynolds Grabowski, 2000. 11.14, 11.16, 11.17: Kristin Mount.
Capítulo 14 14.3: Adaptado de Seeley, Stephens, Tate, *Anatomy & Physiology*, 4e, F24.2, New York: WCB/McGraw Hill, © The McGraw Hill Companies, 1998. 14.5: Kristin Otwell/Kristin Mount. 14.17: USDA. 14.20: De Campbell, Mitchell, Reece, *Biology: Concepts and Connections*, 3e, © Pearson Benjamin Cummings.
Capítulo 15 15.6: Linda McVay/Imagineering.
Capítulo 16 16.3, 16.5: Precision Graphics/Imagineering. 16.8: Martha Blake/Kristin Mount.

Glosario

Abdomen parte del cuerpo situada entre el diafragma y la pelvis.

Abducir alejarse de la línea media del cuerpo.

Aborto finalización de la gestación antes de que el embrión o el feto sean viablse fuera del útero.

Absorción paso de una sustancia por un vaso sanguíneo o membrana, o a través de ellos.

Acetábulo cavidad con forma de taza de la superficie lateral del hueso de la cadera que recibe la cabeza del fémur.

Acetilcolina transmisor químico liberado por determinadas terminaciones nerviosas.

Ácido desoxirribonucleico (DNA) ácido nucleico que se encuentra en todas las células vivas. Transporta la información hereditaria del organismo.

Ácido graso bloque de grasas.

Ácido hidroclórico (HCI) ayuda a la digestión de las proteínas en el estómago; producido por las células parietales.

Ácido láctico producto del metabolismo anaeróbico, especialmente de los músculos.

Ácido nucleico tipo de molécula orgánica que comprende el DNA y el RNA.

Ácido ribonucleico (RNA) ácido nucleico que contiene ribosa; actúa en la síntesis de las proteínas.

Ácido sustancia que libera iones de hidrógeno cuando se encuentra en una solución acuosa (compárese con *base*).

Acidosis enfermedad en la cual la sangre tiene un exceso de concentración de iones y un pH bajo.

Acné enfermedad inflamatoria de la piel; infección de las glándulas sebáceas.

Acomodación (1) adaptación en respuesta a necesidades diferentes o cambiantes; (2) ajuste del ojo para ver objetos a corta distancia.

Acromion saliente externo de la espina de la escápula; es el punto más alto del hombro.

Acrosoma estructura con contenido enzimático que cubre el núcleo del esperma.

Actina proteína contráctil de un músculo.

Acueducto cerebral fina cavidad del cerebro medio que conecta el tercer y el cuarto ventrículos; también denominado acueducto de Silvio.

Adaptación (1) cualquier cambio estructural o respuesta generados para adaptarse a un nuevo entorno; (2) disminución de la transmisión de un nervio sensorial cuando un receptor se estimula de forma continua y sin que la intensidad de los estímulos varíe.

Adiposo graso.

Aducir moverse hacia la línea media del cuerpo.

Aeróbico que requiere oxígeno para vivir o crecer.

Aferente que conduce hacia o hasta el centro.

Aglutinación agrupación de células (extrañas) inducida por la unión cruzada de complejos antígeno-anticuerpo.

Aglutininas anticuerpos en el plasma sanguíneo que provocan la agrupación de corpúsculos o bacterias.

Aglutinógenos (1) antígenos que estimulan la creación de una aglutinina especial; (2) antígenos localizados en los glóbulos rojos responsables a la hora de determinar la clasificación del grupo sanguíneo ABO.

Agonista músculo que ostenta la responsabilidad primaria de producir un determinado movimiento; músculo principal.

Agudeza visual capacidad del ojo para distinguir detalles.

Albúmina proteína que se encuentra en casi todos los animales, es la proteína plasmática más abundante.

Alcalosis enfermedad en la que la sangre tiene una concentración de iones de hidrógeno por debajo de lo normal y un pH elevado.

Alergia respuesta inmunitaria anormalmente virulenta a un antígeno en general inocuo. También denominada hipersensibilidad.

Alimentario perteneciente a los órganos digestivos.

Alopecia calvicie, enfermedad de la pérdida de cabello.

Alvéolo (1) término general que hace referencia a una pequeña cavidad o depresión; (2) saco de aire de los pulmones.

Aminoácido compuesto orgánico que contiene nitrógeno, carbono, hidrógeno y oxígeno. Es el bloque constructor de las proteínas.

Amnios membrana fetal que forma un saco relleno de fluido alrededor del embrión.

Anabolismo fase de construcción del metabolismo que requiere energía y en la que se combinan sustancias más simples para constituir sustancias más complejas.

Anaeróbico que no requiere oxígeno.

Anatomía ciencia de la estructura de los organismos vivos.

Anemia reducción de la capacidad de transporte de oxígeno de la sangre provocada por la disminución del número de eritrocitos o por la disminución del porcentaje de hemoglobina en la sangre.

Aneurisma saco relleno de sangre en una pared arterial provocado por la dilatación o el debilitamiento de la pared.

Anfiatrosis articulación ligeramente móvil.

Angina de pecho dolor fuerte y sofocante en el pecho provocado por una breve falta de suministro de oxígeno al músculo del corazón.

Ano extremo distal del tracto digestivo; salida del recto.

Anorexia pérdida del apetito.

Anoxia carencia de oxígeno.

Antagonistas músculos que actúan en oposición a los músculos principales.

Antecubital superficie anterior del codo.

Anterior parte delantera de un organismo u órgano; superficie ventral.

Anticuerpo sustancia especializada producida por el organismo que puede proporcionar inmunidad frente a un antígeno específico.

Anticuerpos monoclonales preparaciones de anticuerpos idénticos que presentan especificidad para un determinado antígeno.

Antígeno cualquier sustancia, entre las que se incluyen las toxinas, las proteínas externas o las bacterias, que cuando se introduce en el organismo se reconoce como extraña y activa el sistema inmunitario.

Aorta arteria sistémica principal; parte desde el ventrículo izquierdo del corazón.

Apéndice extensión con forma de gusano del intestino delgado.

Aponeurosis lámina fibrosa o membranosa que conecta un músculo a la parte que mueve.

Apoplejía enfermedad en la que el tejido cerebral se ve privado del suministro de sangre, como en el bloqueo de un vaso sanguíneo cerebral.

Aracnoide con forma de tela de araña; en particular, la capa media con forma de tela de araña de las tres meninges.

Arco reflejo trayecto neural para los reflejos.

Areola área circular y pigmentada que rodea el pezón.

Arteria vaso que transporta la sangre desde el corazón.

Arteriola arteria pequeña.

Arteriosclerosis cualquiera de los numerosos cambios proliferativos y degenerativos de las arterias que provocan una disminución de su elasticidad.

Articulación cartilaginosa huesos unidos por un cartílago. No existe cavidad en la articulación.

Articulación fibrosa huesos unidos por tejido fibroso; no existe cavidad de unión.

Articulación sinovial articulación de libre movimiento que consiste en una cavidad encerrada por una cápsula articular (fibrosa) recubierta de una membrana sinovial.

Articulación unión de dos o más huesos.

Artritis inflamación de las articulaciones.

Asma enfermedad o respuesta alérgica que se caracteriza por espasmos bronquiales y dificultad respiratoria.

Astigmatismo defecto visual que resulta de la irregularidad del cristalino o la córnea del ojo y provoca que las imágenes queden desenfocadas.

Aterosclerosis cambios en las paredes de las grandes arterias consistentes en depósitos de lí-

pidos en las paredes arteriales. Se trata de la fase inicial de la arteriosclerosis y del aumento de la rigidez.

Atlas primera vértebra cervical; se articula con el hueso occipital del cráneo y con la segunda vértebra cervical (axis).

Átomo parte más pequeña de un elemento; indivisible por los medios químicos ordinarios.

Atrio cámara del corazón que recibe la sangre de las venas; cámara superior del corazón; aurícula.

Atrofia reducción del tamaño o desgaste de un órgano o célula que se deriva de una enfermedad o de la falta de uso.

Auditivo perteneciente al sentido del oído.

Auscultación acto de examinar escuchando los sonidos corporales.

Automaticidad capacidad de una estructura, órgano o sistema de iniciar su propia actividad.

Autónomo autodirigido, autorregulado, independiente.

Axila espacio formado por el tejido conectivo entre el brazo y la pared lateral del tórax.

Axis segunda vértebra cervical; presenta un saliente vertical denominado apófisis odontoides alrededor del cual gira el atlas.

Axón prolongación de una neurona que transporta los impulsos desde el cuerpo celular nervioso; proceso eferente; parte conductora de una célula nerviosa.

Bacteria cualquier grupo grande de microorganismos, generalmente unicelulares; se encuentran en los seres humanos y en otros animales, en las plantas, la tierra, el aire y el agua. Tienen una amplia variedad de funciones.

Barrera hematoencefálica mecanismo que impide el paso de materiales desde la sangre al tejido cerebral.

Base sustancia que acepta iones de hidrógeno. Receptor de protones. Compárese con *ácido*.

Basófilos glóbulos blancos cuyos gránulos se vuelven de un color azul intenso con una tinción básica. Tienen un núcleo relativamente pálido y un citoplasma de apariencia granular.

Bastones uno de los dos tipos de células fotosensibles de la retina.

Benigno no maligno.

Bíceps de dos cabezas; se aplica a determinados músculos.

Bicúspide que tiene dos puntos o cúspides.

Bilis fluido amarillo verdoso o de color marrón, producido y secretado por el hígado, que se almacena en la vesícula biliar y se libera al intestino delgado.

Biopsia extracción y examen de tejido vivo. A menudo se realiza para detectar o descartar la presencia de células cancerígenas.

Blastocisto fase inicial del desarrollo embrionario.

Bloqueo cardiaco transmisión dañada de los impulsos de la aurícula al ventrículo.

Bloqueo de la rama del haz de His bloqueo de la actividad del corazón resultante del daño de una de las ramas del haz de His; contracción retrasada de un ventrículo.

Bocio agrandamiento benigno de la glándula tiroides.

Bolo masa redondeada de comida preparada por la boca para tragar.

Bolsa sinovial pequeño saco lleno de fluido y situado en los puntos de fricción, especialmente en las articulaciones.

Bradicardia frecuencia cardiaca baja, definida normalmente como una frecuencia inferior a las 60 pulsaciones por minuto.

Braquial perteneciente al brazo.

Bronquio una de las dos grandes ramificaciones de la tráquea que se dirigen a los pulmones.

Bronquitis inflamación de las membranas mucosas de los bronquios.

Bucal perteneciente a la mejilla.

Cadena transportadora de electrones vía metabólica situada dentro de la mitocondria, en la cual la energía recogida de los átomos de hidrógeno altamente energéticos se utiliza para crear ATP. La entrega final de hidrógeno al oxígeno molecular produce agua.

Caduco temporal.

Calambre contracción involuntaria y dolorosa de un músculo.

Cálculo piedra formada en diversas localizaciones del organismo.

Cálculos biliares partículas de colesterol endurecido o sales de calcio que se forman de manera ocasional en la vesícula o en los conductos biliares.

Cálculos renales piedras en el riñón.

Cáliz extensión con forma de taza de la pelvis renal.

Caloría unidad de calor. La Caloría grande (con C mayúscula) es la cantidad de calor requerido para elevar un kilo de agua 1 °C. También se utiliza en estudios metabólicos y nutritivos como la unidad para medir el valor energético de la comida.

Canal conducto o pasarela; estructura tubular.

Canalículo pasaje tubular o canal extremadamente pequeño.

Cáncer tumor celular maligno e invasivo con capacidad de extenderse por el organismo o por parte de éste.

Capa de valencia nivel de energía más externo de un átomo que contiene electrones; los electrones de la capa de valencia determinan el comportamiento de enlace del átomo.

Capacidad de respuesta capacidad de sentir cambios (estímulos) en el entorno y de reaccionar a ellos; véase también *irritabilidad*.

Capacidad vital cantidad de aire que se puede expeler de los pulmones mediante una expiración forzada tras haber inspirado profundamente; aire intercambiable total.

Capas germinales tejidos iniciales o primarios formados en el embrión (ectodermo, mesodermo y endodermo) desde los que surgen todos los tejidos corporales.

Cápsula glomerular extremo en forma de taza con doble pared de un túbulo renal; encierra un glomérulo. También se denomina cápsula de Bowman.

Caracol cavidad del oído interno que se asemeja a la concha de un caracol. Carcasas del receptor auditivo.

Características sexuales secundarias características anatómicas que se desarrollan bajo la influencia de las hormonas sexuales (patrón masculino o femenino del desarrollo muscular, crecimiento óseo, vello corporal, etc.) que no están directamente relacionadas con el proceso reproductor.

Carcinógeno agente causante de cáncer.

Carcinoma cáncer. Crecimiento maligno de las células epiteliales.

Cardiaco perteneciente al corazón.

Carótida arteria principal del cuerpo.

Carpo uno de los ocho huesos de la muñeca.

Cartílago tejido conectivo blanco y semiopaco.

Catabolismo proceso por el que las células vivas descomponen sustancias en otras más simples; metabolismo destructivo.

Catarata pérdida parcial o completa de la transparencia del cristalino del ojo.

Catecolaminas epinefrina y norepinefrina.

Caudal hacia la cola; en seres humanos, la parte inferior de la anatomía.

Célula con memoria miembro de los clones de células T y B que proporciona memoria inmunitaria.

Célula nerviosa sensorial iniciadora de impulsos nerviosos que sigue a la estimulación del receptor.

Célula plasmática parte de un clon de célula B; especializada en producir y liberar anticuerpos.

Célula T citotóxica véase *linfocito T citotóxico*.

Célula unidad biológica básica de los organismos vivos. Contiene un núcleo y un conjunto de organelas rodeadas por una membrana delimitadora.

Células B linfocitos que supervisan la inmunidad humoral. Sus descendientes se diferencian en células plasmáticas productoras de anticuerpos. También denominados linfocitos B.

Células caliciformes células individuales (glándulas simples) que sintetizan mucina, principal componente del moco.

Células de Purkinje fibras modificadas de los músculos cardiacos del sistema de conducción del corazón.

Células T supresoras linfocitos T reguladores que suprimen la respuesta inmunitaria.

Células T linfocitos que intervienen en la inmunidad celular; se dividen en células cooperadoras, citolíticas, supresoras y con memoria. También se denominan linfocitos T.

Cemento tejido conectivo óseo que cubre la raíz de los dientes.

Centriolo cuerpo diminuto localizado en el núcleo de la célula y compuesto por microtúbulos; interviene en la división celular.

Cerebelo parte del cerebro posterior. Interviene en la producción de la actividad coordinada y fina de los músculos esqueléticos.

Cerebro parte mayor del encéfalo. Se compone de los hemisferios cerebrales derecho e izquierdo.

Cerumen cera de los oídos.

Cervical hace referencia al cuello o a la parte con forma de cuello de un órgano o estructura.

Cianosis coloración azulada de las membranas mucosas y de la piel provocada por una deficiente oxigenación de la sangre.

Ciclo cardiaco secuencia de pasos que comprende el ciclo completo de contracción y relajación de las aurículas y los ventrículos del corazón.

Ciclo de Krebs vía aeróbica que se produce dentro de la mitocondria, en la cual la energía se libera durante el metabolismo de los hidratos de carbono, las grasas y los aminoácidos, y se produce CO_2.

Ciclo ovárico ciclo mensual de desarrollo de folículos, ovulación y formación del cuerpo lúteo en un ovario.

Ciego bolsa cerrada situada al comienzo del intestino grueso.

Cilios pequeños apéndices con forma de pelo de las superficies celulares que se mueven de forma ondulada.

Cintura escapular véase *cintura pectoral.*

Cintura pectoral compuesto de dos huesos, escápula y clavícula, que acoplan la extremidad superior al esqueleto axial; también se denomina cintura pectoral.

Cintura pélvica cuenca ósea incompleta, formada por los dos huesos coxales, que asegura las extremidades inferiores al sacro del esqueleto axial.

Circulación pulmonar sistema de vasos sanguíneos que transporta la sangre a los pulmones y desde ellos, para el intercambio de gases.

Circulación sistémica sistema de vasos sanguíneos que transportan nutrientes y sangre rica en oxígeno a todos los órganos corporales.

Círculo de Willis unión de arterias en la base del encéfalo.

Circumducción movimiento circular de una parte corporal.

Circunvolución pliegue hacia fuera de la superficie de la corteza cerebral.

Cirrosis enfermedad crónica del hígado que se caracteriza por un crecimiento excesivo del tejido conectivo o fibrosis.

Cistitis inflamación de la vejiga urinaria.

Citocinesis división del citoplasma que se produce después de la división del núcleo celular.

Citología ciencia que se ocupa del estudio de las células.

Citoplasma sustancia de una célula diferente de la del núcleo.

Clítoris estructura pequeña y eréctil de las mujeres, homóloga al pene del hombre.

Clon descendiente de una célula simple.

Coagulación coagulación de la sangre.

Coito relación sexual.

Colesterol esteroide localizado en las grasas animales, así como en la mayoría de los tejidos corporales; producido por el hígado.

Columna vertebral la espina dorsal, formada por un conjunto de huesos individuales denominados vértebras y por dos huesos compuestos (sacro y cóccix).

Coma inconsciencia de la que no se puede hacer salir a una persona.

Complemento grupo de proteínas de plasma que normalmente circulan de forma inactiva. Cuando se activan mediante la fijación del complemento provocan la lisis de las células extrañas y mejoran la fagocitosis y la inflamación.

Compuesto inorgánico compuesto que carece de carbono; por ejemplo, el agua.

Compuesto orgánico compuesto que contiene carbono; entre éstos encontramos las proteínas, los hidratos de carbono y las grasas.

Compuesto sustancia compuesta por dos o más elementos diferentes, los átomos de lo que está unido químicamente.

Cóncavo que presenta una superficie curva o deprimida.

Cóndilo protuberancia redondeada al final de un hueso que se articula con otro hueso.

Condrocito célula cartilaginosa madura.

Conductividad capacidad de transmitir un impulso eléctrico.

Conducto canal o pasaje.

Congénito de nacimiento.

Conjuntiva fina membrana mucosa protectora que alinea los párpados y cubre la superficie anterior del globo ocular.

Cono uno de los dos tipos de células fotorreceptoras de la retina del ojo. Proporciona la visión en color.

Contracción acortamiento o desarrollo de tensión; capacidad altamente desarrollada por las células musculares.

Contracepción prevención de la concepción; control de la natalidad.

Contralateral opuesto; que actúa al unísono con una parte similar del lado opuesto del cuerpo.

Convergencia que se dirige a un punto común desde diferentes direcciones.

Cordón umbilical estructura que soporta arterias y venas conectadas con la placenta y el feto.

Corion Membrana fetal más externa. Ayuda a formar la placenta.

Córnea parte anterior transparente del globo ocular.

Coroides capa nutritiva pigmentada del ojo.

Corteza capa de la superficie superior de un órgano.

Costal perteneciente a las costillas.

Coxal perteneciente a la pierna.

Craneal perteneciente al cráneo.

Cráneo caja ósea para el encéfalo.

Crenación desecación de una célula, por ejemplo un eritrocito, como resultado de la pérdida de agua.

Criptorquidia fallo en el desarrollo por el que los testículos (o uno de ellos) no bajan hasta el escroto.

Cristalino estructura convexa doble y elástica del ojo que enfoca la luz que entra en el ojo sobre la retina.

Cromatinas estructuras del núcleo que llevan los factores hereditarios (genes).

Cromosoma cuerpo con forma de barra de cromatina enrollada con fuerza; visible durante la división celular.

Cromosomas sexuales cromosomas que determinan el sexo genético; éstos son los cromosomas X e Y.

Crural perteneciente a la pierna.

Cuadriplejia parálisis que afecta a las cuatro extremidades.

Cuello del útero parte inferior del útero con forma de cuello que desemboca en la vagina.

Cuerpo aórtico receptor del arco aórtico sensible a los cambios de oxígeno, dióxido de carbono y niveles de pH de la sangre.

Cuerpo carotídeo receptor de la arteria carótida común sensible a los cambios producidos en los niveles de oxígeno, dióxido de carbono y pH de la sangre.

Cuerpo polar célula diminuta producida durante la meiosis en el ovario.

Cuerpo parte principal de un órgano.

Cúpula estructura con forma de bóveda.

Cutáneo perteneciente a la piel.

Decúbito prono hace referencia a la posición del cuerpo tendido de forma horizontal con la cara hacia abajo.

Decúbito supino hace referencia a un cuerpo que yace con la cara hacia arriba.

Defecación eliminación de los contenidos del intestino (heces).

Deglución acción de tragar.

Dendritas extensiones ramificadas de las neuronas que transportan las señales eléctricas al cuerpo de la célula. Parte receptora de una célula nerviosa.

Dentina tejido calcificado que forma la mayor parte de los dientes. Situada debajo del esmalte.

Dermatitis inflamación de la piel. Alergia cutánea no específica.

Dermis capa profunda de la piel. Compuesta de tejido conectivo denso e irregular.

Deshidratación enfermedad resultante de la pérdida excesiva de agua.

Despolarización pérdida de un estado de polaridad. Pérdida de una carga negativa dentro de una membrana plasmática.

Deuda de oxígeno volumen de oxígeno necesario tras practicar ejercicio para oxidar el ácido láctico formado durante el ejercicio.

Diabetes *mellitus* enfermedad provocada por una liberación insuficiente de insulina o por una respuesta inadecuada a la misma. Hace que las células corporales sean incapaces de utilizar los hidratos de carbono a un ritmo adecuado.

Diáfisis eje alargado de un hueso largo.

Diafragma (1) cualquier partición o pared que separa una zona de otra; (2) músculo que separa la cavidad torácica de la cavidad abdominopélvica.

Diapédesis paso de las células corporales a través de las paredes intactas de los vasos sanguíneos hasta los tejidos.

Diartrosis articulación con libertad de movimientos.

Diástole periodo (entre contracciones) de relajación del corazón durante la cual se llena de sangre.

Diencéfalo parte del encéfalo delantero situada entre los hemisferios cerebrales y el cerebro medio, en la que se incluyen el tálamo, el tercer ventrículo y el hipotálamo.

Dientes de leche los 20 dientes temporales sustituidos por los dientes permanentes.

Difusión extensión de partículas en un gas o una solución con un movimiento que tiende hacia una distribución uniforme de las partículas.

Digestión proceso corporal por el que se descomponen los alimentos de forma química y mecánica.

Digital perteneciente a los dígitos; dedos de las manos y de los pies.

Dilatar estirar, abrir, expandir.

Disacárido literalmente, doble azúcar. Algunos ejemplos son la sacarosa y la lactosa.

Discos intervertebrales discos de fibrocartílago situados entre las vértebras.

Disnea respiración dificultosa.

Distal lejano del punto de unión de una extremidad o del origen de una estructura.

Distrofia muscular enfermedad degenerativa marcado por la atrofia y la rigidez de los músculos.

Divertículo bolsa o saco en las paredes de un órgano o una estructura huecos.

División parasimpática división del sistema nervioso autónomo; también se denomina división craneosacra.

División simpática división del sistema nervioso autónomo; se opone a las funciones parasimpáticas; también se denomina división de enfrentamiento o huida.

Dorsal perteneciente a la espalda; posterior.

Duodeno primera parte del intestino delgado.

Duramadre la más externa y resistente de las tres membranas (meninges) que cubren el encéfalo y la médula espinal.

Ectópico que no se encuentra en su sitio normal; por ejemplo, en un embarazo ectópico, el óvulo se implanta en un lugar diferente al útero.

Edema pulmonar fuga de fluido a los alvéolos y tejidos de los pulmones.

Edema sistémico acumulación de líquido en los órganos o tejidos corporales.

Edema acumulación anormal de fluido en las partes corporales o tejidos. Provoca hinchazón.

Efector órgano, glándula o músculo capaz de activarse por la acción de las terminaciones nerviosas.

Eje línea imaginaria sobre la que gira una articulación o estructura.

Electrocardiograma (ECG) registro gráfico de la actividad eléctrica del corazón.

Electroencefalograma (EEG) registro gráfico de la actividad eléctrica de las células nerviosas en el encéfalo.

Electrolito sustancia que se descompone en iones cuando se encuentra en una solución y es capaz de conducir una corriente eléctrica.

Electrón partícula subatómica con carga negativa; gira alrededor del núcleo atómico.

Elemento cualquiera de los bloques de construcción de la materia, como por ejemplo, oxígeno, hidrógeno o carbono.

Elementos formes parte celular de la sangre.

Embolia obstrucción de un vaso sanguíneo por un émbolo (coágulo, burbuja de aire, o masa de aire que flota en la sangre).

Embrión organismo en su fase inicial de desarrollo. En seres humanos, los dos primeros meses tras la concepción.

Emesis acto de vomitar.

Emetropía del ojo que enfoca las imágenes de forma correcta en la retina se dice que tiene esta "visión armónica".

Endocardio membrana endotelial que recubre el interior del corazón.

Endocarditis inflamación del recubrimiento interior del corazón.

Endometrio membrana mucosa que recubre el útero.

Endomisio fino tejido conectivo que rodea a cada célula muscular.

Endoneurio delicada funda de tejido conectivo que rodea cada fibra de un nervio.

Endotelio capa única de células escamosas simples que recubren las paredes del corazón y los vasos que transportan la sangre y la linfa.

Energía capacidad de realizar trabajos.

Energía cinética energía del movimiento.

Energía eléctrica energía resultante del movimiento de las partículas cargadas.

Energía mecánica forma de energía relacionada con la puesta en movimiento de la materia.

Energía química forma de energía almacenada en los enlaces químicos.

Energía radiante energía de espectro electromagnético que comprende calor, luz, ondas ultravioletas, ondas infrarrojas y otras formas de energía.

Enfermedad de la inmunodeficiencia enfermedad que resulta del funcionamiento o la producción deficiente de células inmunitarias o determinadas moléculas (complementos, anticuerpos y demás) requeridas para la inmunidad normal.

Enfisema enfermedad provocada por un exceso de distensión de los alvéolos pulmonares y por la fibrosis del tejido pulmonar.

Enlace covalente enlace por el que se comparten electrones entre los átomos.

Enlace de hidrógeno enlace débil en el que un átomo de hidrógeno forma un puente entre dos átomos con necesidad de electrones. Se trata de un enlace intramolecular importante.

Enlace iónico enlace formado por la transferencia completa de electrones de un átomo a otro (u otros). Los átomos cargados resultantes, o iones, están cargados de forma opuesta y se atraen los unos a los otros.

Enlace químico relación de energía que mantiene los átomos unidos; implica la interacción de los electrones.

Enzima sustancia formada por células vivas que actúa como catalizador en reacciones químicas corporales.

Eosinófilos glóbulos blancos granulares cuyos gránulos adquieren una mancha denominada eosina.

Epicardio membrana serosa que envuelve de forma ajustada la superficie externa del corazón y forma parte de la pared del mismo; también se denomina pericardio visceral.

Epidermis capas externas de la piel; epitelio

Epidídimo parte del sistema masculino de conductos en los que madura el esperma. Se vacía por el conducto deferente.

Epífisis extremo de un hueso largo.

Epiglotis cartílago elástico situado en la parte posterior de la garganta; cubre la glotis al tragar.

Epimisio funda de tejido conectivo que rodea a un músculo.

Epineurio funda resistente y fibrosa que une los fascículos de un nervio.

Epitelio uno de los tejidos primarios; cubre la superficie del cuerpo y recubre las cavidades, los conductos y los vasos corporales.

Equilibrio dinámico sentido que interviene en los movimientos angulares o rotativos de la cabeza en el espacio.

Equilibrio estático equilibrio relacionado con cambios en la posición de la cabeza.

Equilibrio estado en el que actúan fuerzas o reacciones exactamente opuestas.

Eritrocitos glóbulos rojos.

Eritropoiesis proceso de formación de eritrocitos.

Escamoso (1) liso, que tiene forma de escama; (2) perteneciente a las células lisas y delgadas que forman la superficie libre de algunos tejidos epiteliales.

Esclerótica capa exterior blanca, firme y fibrosa del globo ocular; protege y mantiene la forma normal del globo ocular.

Esfínter cardioesofágico válvula situada entre el estómago y el esófago.

Esfínter músculo circular que rodea una abertura; actúa como una válvula.

Esmalte sustancia dura y calcificada que cubre la corona de un diente.

Esperma célula germinal masculina madura.

Espermatogénesis proceso de producción de esperma en los animales masculinos; comprende la meiosis.

Esqueleto apendicular huesos de las extremidades y las cinturas escapulares de las extremidades que están unidos al esqueleto axial.

Esqueleto axial formado por los huesos del cráneo, la columna vertebral, el tórax y el esternón.

Estasis (1) reducción o interrupción de un flujo; (2) estado de inmovilidad.

Estenosis constricción o estrechamiento anormal.

Esternal zona del hueso del pecho.

Esteroides grupo específico de sustancias químicas entre las que se incluyen determinadas hormonas y el colesterol.

Estímulo liminar estímulo más débil capaz de producir una respuesta en un tejido irritable.

Estímulo excitante o irritante; cambio en el entorno que produce una respuesta.

Estrato capa.

Estresante cualquier estímulo que directa o indirectamente hace que el hipotálamo inicie respuestas reductoras de estrés, como la respuesta de enfrentamiento o huida.

Estrógenos hormonas que estimulan las características sexuales secundarias femeninas; hormonas sexuales femeninas.

Eupnea respiración sencilla y normal.

Eversión movimiento especial del pie que se consigue al girar la planta de forma lateral.

Excreción eliminación de los productos de desecho del organismo.

Expiración acción de expulsar aire de los pulmones; exhalación.

Extensión movimiento que aumenta el ángulo de una articulación; por ejemplo, estirar una rodilla flexionada.

Extracelular fuera de una célula.

Eyaculación expulsión repentina de semen del pene.

Factor intrínseco sustancia producida por el estómago necesaria para la absorción de vitamina B_{12}.

Fagocito célula capaz de engullir o digerir partículas o células perjudiciales para el organismo.

Fagocitosis ingestión de partículas sólidas por parte de las células.

Falanges huesos de los dedos.

Fallo cardiaco congestivo (CHF) enfermedad en la cual la eficiencia de bombeo del corazón se reduce, de forma que no resulta adecuada para cubrir las necesidades de los tejidos.

Faringe tubo muscular que se extiende desde la parte posterior de las cavidades nasales hasta el esófago.

Fascias capas de tejido fibroso que cubren y separan los músculos.

Fascículo conjunto de nervios o de fibras musculares unidas por tejido conectivo.

Femoral perteneciente al muslo.

Fertilización fusión del material nuclear de un óvulo y un espermatozoide.

Feto no nato; en los seres humanos, el periodo comprendido entre el tercer mes de desarrollo y el parto.

Fibra nerviosa axón de una neurona.

Fibras colinérgicas terminaciones nerviosas que, una vez estimuladas, liberan acetilcolina.

Fibras energéticas fibras nerviosas que liberan norepinefrina.

Fibras mielinizadas axones (prolongaciones de una célula nerviosa) cubiertos de mielina.

Fibras musculares células musculares.

Fibras nerviosas vasomotoras fibras nerviosas que regulan la constricción o la dilatación de los vasos sanguíneos.

Fibrilación contracción irregular y descoordinada de las células musculares, especialmente de la musculatura del corazón.

Fibrina proteína insoluble y fibrosa que se forma durante la coagulación de la sangre.

Fibrinógeno proteína sanguínea que se convierte en fibrina durante el proceso de coagulación de la sangre.

Fibular perteneciente a la zona de la fíbula, el hueso lateral de la pierna.

Fijadores músculos cuya acción inmoviliza una articulación o un hueso; fijan el origen de un músculo, de forma que la acción del músculo se pueda ejercer en la inserción.

Filtración paso de sustancias solventes y disueltas a través de una membrana o filtro.

Fisiología ciencia del funcionamiento de los organismos vivos.

Fisura (1) ranura o grieta; (2) depresiones más profundas o pliegues hacia el interior del encéfalo.

Flácido fofo, blando, relajado.

Flagelos extensiones largas con forma de látigo de la membrana celular de algunas bacterias y de los espermatozoides; sirven para impulsar las células.

Flexión acción de doblar; movimiento que reduce el ángulo entre los huesos.

Flexión dorsal movimiento arriba y abajo que comprende el levantamiento del pie de forma que su superficie superior se acerque a la espinilla (apoyados sobre los talones).

Fluido extracelular fluido dentro del organismo, pero fuera de las células.

Fluido seroso líquido claro y acuoso secretado por las células de una membrana serosa.

Foco creación de una imagen nítida mediante una lente.

Folículo (1) estructura de un ovario que se compone de un óvulo en desarrollo rodeado por células foliculares; (2) estructura que contiene coloide en la glándula tiroides.

Folículo vesicular folículo del ovario maduro.

Folículos de Graaf véase *folículo vesicular*.

Fontanelas membranas fibrosas del cráneo donde todavía no se ha formado el hueso. "puntos blandos" de los bebés.

Foramen agujero o abertura en un hueso o entre las cavidades corporales.

Fosas depresión; a menudo, de una superficie de las articulaciones.

Fosfolípido triglicérido modificado que contiene fósforo.

Fotorreceptores células receptoras especializadas que responden a la energía luminosa.

Fóvea foso.

Fundus base de un órgano; parte más alejada de la abertura del órgano.

Gameto células sexuales masculinas o femeninas (espermatozoide/óvulo).

Gametogénesis formación de gametos.

Ganglio grupo de cuerpos de células nerviosas situadas en el sistema nervioso periférico.

Ganglio linfático masa de tejido linfático.

Gasto cardiaco volumen de sangre (en litros) expulsado por el ventrículo izquierdo en un minuto.

Gastrina hormona que estimula la secreción gástrica, en particular la liberación de ácido hidroclórico.

Gen unidades biológicas hereditarias situadas en la cromatina; transmite la información hereditaria.

Genética ciencia de la herencia.

Genitales órganos sexuales externos.

Glándula órgano especializado en secretar o excretar sustancias para otro uso en el organismo o para eliminarlas.

Glándula apocrina tipo menos numeroso de glándula sudorípara. Produce una secreción que contiene agua, sales y proteínas.

Glándula pituitaria glándula neuroendocrina situada debajo del encéfalo que desempeña diversas funciones, entre las que se incluyen la regulación de las gónadas, la glándula tiroides, la corteza suprarrenal, el equilibrio hídrico y la lactancia.

Glándula sudorípara véase *glándulas del sudor*.

Glándula timo glándula endocrina que interviene en la respuesta inmunitaria.

Glándula tiroides una de las glándulas endocrinas más grandes del organismo. Se asienta sobre la tráquea anterior.

Glándulas del sudor glándulas que producen una solución salina denominada sudor; también se denominan glándulas sudoríparas.

Glándulas endocrinas glándulas sin conductos que vacían sus productos hormonales directamente en la sangre.

Glándulas exocrinas glándulas con conductos a través de los cuales se transportan sus secreciones a una superficie corporal (piel o mucosa).

Glándulas mamarias glándulas de los pechos que producen leche.

Glándulas paratiroideas pequeñas glándulas endocrinas localizadas en la parte posterior de la glándula tiroides.

Glándulas sebáceas glándulas que vacían la secreción de sebo en los folículos pilosos.

Glándulas suprarrenales glándulas productoras de hormonas situadas sobre los riñones. Cada una se compone de dos zonas: zona medular y corteza.

Glaucoma Aumento anormal de la presión en el ojo.

Glía véase *neuroglía*.

Glicerol alcohol de azúcar; uno de los bloques constructores de grasas.

Glomérulo nudo de capilares enrollados en el riñón; forma un filtro.

Glotis abertura entre las cuerdas vocales y la laringe.

Glucogénesis formación de glucógeno a partir de la glucosa.

Glucógeno principal hidrato de carbono que se almacena en las células animales; es un polisacárido.

Glucogenólisis descomposición de glucógeno en glucosa.

Glucólisis descomposición de la glucosa en ácido pirúvico; proceso anaeróbico.

Glucosa principal azúcar en la sangre, es un monosacárido.

Gónadas órganos productores de gametos; ovarios y testículos.

Gradiente de presión diferencia en la presión hidrostática (fluido) que conduce la filtración.

Heces material que se desecha del intestino compuesto por residuos alimentarios, secreciones y bacterias.

Hematocrito porcentaje de eritrocitos con respecto al volumen total de la sangre.

Hematopoyesis formación de las células sanguíneas y de las plaquetas.

Hemiplejia parálisis de un lado del cuerpo.

Hemocitoblastos células madre que dan lugar a todos los elementos formes de la sangre.

Hemofilia defecto hereditario de la coagulación provocado por la ausencia de un factor coagulante en la sangre.

Hemoglobina pigmento transportador de oxígeno de los eritrocitos.

Hemólisis ruptura de eritrocitos.

Hemorragia pérdida de sangre desde los vasos sanguíneos por el flujo a través de paredes rotas; sangrado.

Hendidura sináptica espacio lleno de líquido en una sinapsis entre neuronas.

Hepatitis inflamación del hígado.

Hialino vítreo, transparente.

Hidrato de carbono compuesto orgánico formado por carbono, hidrógeno y oxígeno. Comprende los almidones, los azúcares y la celulosa.

Hidrólisis proceso en el que se usa el agua para dividir una sustancia en partículas más pequeñas.

Hilio zona hundida por donde los vasos entran en un órgano y lo abandonan.

Hiperopía hipermetropía.

Hipertensión presión sanguínea anormalmente alta.

Hipertónico con un tono o tensión excesivos.

Hipertrofia aumento del tamaño de un tejido u órgano independiente del crecimiento general del organismo.

Hipotálamo zona del diencéfalo que forma el suelo del tercer ventrículo del encéfalo.

Hipotensión baja presión sanguínea.

Hipotermia temperatura corporal por debajo de lo normal.

Hipotónico tono o tensión por debajo de lo normal.

Hipoxia enfermedad por la cual no hay una cantidad adecuada de oxígeno disponible para los tejidos.

Histamina sustancia que provoca la dilatación de los vasos sanguíneos y una mayor permeabilidad vascular.

Histología rama de la anatomía que trata la estructura microscópica de los tejidos.

Homeostasis estado de equilibrio corporal o entorno interno estable del organismo.

Homólogo partes u órganos correspondientes en su estructura, pero no necesariamente en su función.

Hormona mensajero químico secretado por las glándulas endocrinas; responsable de los efectos reguladores específicos en determinadas partes u órganos.

Hormona paratiroidea (PTH) hormona liberada por las glándulas paratiroideas que regula el nivel de calcio en sangre.

Hormona trópica hormona que regula el funcionamiento de otro órgano endocrino.

Huesecillos del oído tres pequeños huesos: martillo, yunque y estribo. Están situados en el oído medio y sirven de transmisores de las vibraciones del sonido.

Humor acuoso fluido acuoso de las cámaras anteriores de los ojos.

Humor vítreo sustancia gelatinosa que ayuda a evitar que el globo ocular se colapse hacia dentro mediante un refuerzo interno.

Huso muscular receptor muscular encapsulado localizado en los músculos esqueléticos sensible a los estiramientos.

Ictericia acumulación de pigmentos biliosos en la sangre que produce una coloración amarilla de la piel.

Íleon parte final del intestino grueso; situado entre el yeyuno y el ciego del intestino delgado.

Impulso nervioso onda autopropagadora de despolarización. También se denomina *potencial de acción*.

Inervación suministro de nervios a una zona del organismo.

Infarto región muerta; tejido deteriorado que resulta de la carencia de suministro de sangre.

Infarto de miocardio enfermedad caracterizada por zonas de tejido muerto en el miocardio, provocada por la interrupción del suministro de sangre a la zona.

Inferior (caudal) perteneciente a una posición cercana al extremo final del eje largo del cuerpo.

Inflamación respuesta fisiológica de las lesiones de los tejidos; implica la dilatación de los vasos sanguíneos y una mayor permeabilidad de éstos.

Ingle unión del muslo y el tronco; zona inguinal.

Inguinal perteneciente a la región de la ingle.

Inmunidad capacidad del organismo para resistir a muchos agentes (tanto vivos como no vivos) que pueden provocar enfermedades; resistencia a las enfermedades.

Inmunidad activa inmunidad producida por el encuentro con un antígeno; proporciona memoria inmunitaria.

Inmunidad celular inmunidad conferida por los linfocitos llamados células T. También se denomina inmunidad mediada por células.

Inmunidad humoral inmunidad proporcionada por los anticuerpos liberados por las células B sensibilizadas y su progenie de células plasmáticas. También se denomina inmunidad mediada por anticuerpos.

Inmunidad pasiva inmunidad que resulta de la introducción de "anticuerpos prestados" que se obtienen de un animal inmune o un donante humano; no se establece memoria inmunitaria.

Inmunocompetencia capacidad de las células inmunitarias del organismo para reconocer (mediante la unión con ellos) antígenos específicos; refleja la presencia de los receptores de enlace con la membrana de plasma.

Inmunoglobulina molécula de proteína liberada por las moléculas de plasma que actúa de mediador para la inmunidad humoral: requerida para la inmunidad normal.

Inserción acoplamiento móvil de un músculo en contraposición con su origen.

Insolación fallo de la capacidad reguladora del calor de un individuo bajo estrés por calor.

Inspiración toma de aire en los pulmones; inhalación.

Intercelular entre las células corporales.

Interneuronas completan el sendero entre las neuronas aferentes y las eferentes; también se denomina *asociación de neuronas*.

Intracelular dentro de una célula.

Invertir girar hacia dentro.

Ión átomo con una carga eléctrica positiva o negativa.

Ipsilateral situado en el mismo lado.

Iris músculo involuntario y pigmentado que actúa como diafragma del ojo.

Irritabilidad capacidad de responder a un estímulo.

Isométrico de la misma longitud.

Isotónico que tiene una tensión uniforme; del mismo tono.

Isótopo forma atómica diferente del mismo elemento. Los isótopos varían solamente en el número de neutrones que contienen.

Isquemia reducción local del suministro de sangre.

Jugo pancreático secreción del páncreas que contiene enzimas para la digestión de alimentos de todo tipo.

Kilocaloría (kcal) unidad utilizada para medir el valor energético de los alimentos.

Laberinto cavidades óseas y membranas del oído interno que albergan la audición y los receptores del equilibrio.

Lacrimal relativo a las lágrimas.

Lactancia producción y secreción de leche.

Laguna pequeña depresión o espacio en los huesos o cartílagos, las lagunas están ocupadas por las células.

Lámina (1) capa o placa fina y llana; (2) parte de una vértebra entre la apófisis transversal y la apófisis espinosa.

Laringe órgano cartilaginoso situado entre la tráquea y la faringe; es la caja para la voz.

Laringitis inflamación de la laringe.

Lateral alejado de la línea media del cuerpo.

Lesión herida de un tejido.

Leucemia enfermedad cancerígena caracterizada por una excesiva producción de leucocitos inmaduros.

Leucocito glóbulo blanco.

Ligamento cuerda de tejido fibroso que conecta los huesos.

Linfa fluido acuoso de los vasos linfáticos que se recoge de los espacios intersticiales.

Linfocinas proteínas implicadas en las respuestas inmunitarias mediadas por células que mejoran las respuestas inmunitarias e inflamatorias.

Linfocito T cooperador tipo de linfocito T que orquesta la inmunidad celular mediante el contacto directo con otras células inmunes y mediante la liberación de sustancias químicas denominadas linfocinas; ayuda a la hora de mediar la respuesta humoral mediante la interacción con las células B.

Linfocitos T citotóxicos células T efectoras que destruyen directamente las células extrañas.

Linfocitos glóbulos blancos granulares formados en la médula ósea que maduran en el tejido linfoide.

Lípido compuesto orgánico formado por carbono, hidrógeno y oxígeno; algunos ejemplos son las grasas y el colesterol.

Líquido cefalorraquídeo fluido producido por el plexo coroideo. Rellena los ventrículos y rodea el sistema nervioso central.

Líquido intersticial fluido que se halla entre las células.

Líquido intracelular fluido dentro de una célula.

Líquido sinovial líquido secretado por la membrana sinovial; lubrica las superficies de las articulaciones y nutre los cartílagos articulares.

Lisosomas orgánulos que se originan en el aparato de Golgi y contienen encimas digestivas fuertes.

Lisozima enzima localizada en el sudor, la saliva y las lágrimas capaz de destruir distintos tipos de bacterias.

Lumbar parte de la espalda situada entre el tórax y la pelvis.

Luz espacio dentro de un tubo, vaso sanguíneo u órgano hueco.

Macrófago célula especialmente abundante en los tejidos conectivos y linfáticos; resulta importante en la respuesta inmunitaria como presentador de antígenos a las células T y B.

Maligno que amenaza la vida; referido a las neoplasias que se extienden y conducen a la muerte, tales como el cáncer.

Masa de las células internas grupo de células del blastocito a partir de las cuales se desarrolla el embrión.

Masticación acto de masticar.

Materia cualquier cosa que ocupa espacio y tiene masa.

Matriz extracelular material inerte en un tejido conectivo que se compone de una sustancia base y de fibras que separan las células vivas.

Matriz intercelular material entre células contiguas; resulta especialmente importante en el tejido conectivo.

Meato abertura externa de un canal.

Mecanorreceptores receptores sensibles a las presiones mecánicas, tales como el tacto, el sonido o las contracciones.

Medial hacia la línea media del cuerpo.

Mediastino región de la cavidad torácica entre los pulmones.

Médula parte central de determinados órganos.

Meiosis las dos divisiones celulares sucesivas en la formación de gametos que producen núcleos con la mitad del número total de cromosomas (haploide).

Melanina pigmento oscuro sintetizado por los melanocitos; responsable del color de la piel.

Melanocito célula que produce melanina.

Membrana basal fina capa de material extracelular a la que se adhieren las células epiteliales en las superficies mucosas.

Membrana celular véase *membrana plasmática*.

Membrana cutánea la piel; se compone de las capas epidérmicas y dérmicas.

Membrana mucosa membrana que forma los recubrimientos de las cavidades corporales abiertas al exterior (tractos digestivo, respiratorio, urinario y reproductor).

Membrana plasmática membrana que envuelve el contenido celular; membrana exterior.

Membrana serosa membrana que recubre una cavidad sin una abertura al exterior del cuerpo (excepto en las cavidades de las articulaciones); serosa.

Membrana sinovial membrana que recubre la cápsula de una articulación sinovial.

Membrana timpánica el tambor del oído.

Menarquia establecimiento de la función menstrual; primer periodo menstrual.

Meninges membranas que cubren el encéfalo y la médula espinal.

Meningitis inflamación de las meninges del cerebro o la médula espinal.

Menopausia finalización fisiológica de los ciclos menstruales.

Menstruación descarga periódica y cíclica de sangre, secreciones y tejido del útero maduro en ausencia de embarazo.

Mesenterio membrana doble del peritoneo que sustenta la mayor parte de los órganos de la cavidad abdominal.

Metabolismo suma total de las reacciones químicas que se producen en el organismo.

Metabolizar transformar sustancias en energía o materiales que el organismo puede utilizar o almacenar mediante el anabolismo o el catabolismo.

Metacarpo uno de los cinco huesos de la palma de la mano.

Metástasis extensión de un cáncer desde una parte del organismo o desde un órgano a otro no directamente conectado.

Metatarso uno de los cinco huesos situados entre el tarso y las falanges del pie.

Micción orina o vaciado de la vejiga.

Microvellosidades pequeños salientes de las superficies libres de algunas células epiteliales; aumentan la superficie de absorción.

Mielina sustancia lipídica blanca y grasa.

Minerales compuestos químicos inorgánicos que se encuentran en la naturaleza.

Miocardio capa muscular cardiaca de la pared del corazón.

Miofibrillas organelas contráctiles localizadas en el citoplasma de las células musculares.

Miofilamentos filamentos que componen las miofibrillas. Son de dos tipos: actina y miosina.

Miometrio musculatura uterina gruesa.

Miosina una de las principales proteínas contráctiles localizadas en el músculo.

Mitocondria organelas citoplásmicas con forma de barra responsables de la generación de ATP.

Mitosis división del núcleo celular; a menudo le sigue la división del citoplasma de la célula.

Molécula partícula que consiste en dos o más átomos unidos mediante enlaces químicos.

Moléculas polares moléculas asimétricas que contienen átomos desequilibrados eléctricamente.

Monocito glóbulo blanco de un solo núcleo de gran tamaño; leucocito no granular.

Monosacárido literalmente, de un azúcar. Bloque de construcción de los hidratos de carbono; algunos ejemplos son la glucosa y la fructosa.

Monte de venus almohadilla adiposa que descansa sobre la sínfisis púbica de la mujer.

Mucosidad fluido viscoso y compacto, secretado por las glándulas mucosas y las membranas mucosas, que mantiene húmeda la superficie libre de las membranas.

Músculo cardiaco músculo especializado del corazón.

Músculo esquelético músculo compuesto por células multinucleares cilíndricas con estriaciones marcadas; músculos unidos al esqueleto corporal. También se denominan *músculos voluntarios*.

Músculo estriado músculo que se compone de fibras musculares de estrías cruzadas; comprende los músculos cardiacos y los esqueléticos.

Músculo liso músculo que se compone de células musculares no estriadas con forma de huso; músculo involuntario.

Músculo principal músculo cuyas contracciones son las principales responsables de un determinado movimiento; agonista.

Músculo voluntario músculo bajo nuestro control; músculo esquelético.

Músculos erectores del pelo músculos pequeños y lisos unidos a los folículos capilares que hacen que el pelo se yerga cuando se activan.

Músculos isquiotibiales músculos del músculo posterior: el bíceps femoral, el semimembranoso y el semitendinoso.

Músculos papilares músculos con forma de cono localizados en los ventrículos del corazón.

Nasal perteneciente a la nariz.

Necrosis muerte o desintegración de una célula, o de tejidos, provocada por una enfermedad o lesión.

Nefronas unidades estructurales y funcionales de los riñones.

Neoplasia crecimiento anormal de las células. En ocasiones es cancerígena.

Nervio sensorial nervio que contiene prolongaciones de las neuronas sensoriales y transporta impulsos nerviosos al sistema nervioso central.

Nervio paquete de prolongaciones neuronales (axones) fuera del sistema nervioso central.

Nervios craneales los 12 pares de nervios que parten del encéfalo.

Nervios espinales los 31 pares de nervios que parten de la médula espinal.

Nervios mixtos nervios que contienen las prolongaciones de las neuronas motoras y sensoriales; sus impulsos se desplazan al sistema nervioso central y desde él.

Neumotórax presencia de aire o gas en la cavidad pleural.

Neuroglía tejido no neuronal del sistema nervioso central que desempeña funciones de sostén y otras; también denominado glía.

Neurona postgangliónica (postsináptica) neurona del sistema nervioso autónomo que tiene su cuerpo celular en un ganglio y cuyo axón se extiende a un órgano o tejido.

Neurona pregangliónica (presináptica) neurona del sistema nervioso autónomo que tiene su cuerpo celular en el encéfalo o la médula espinal y cuyo axón termina en un ganglio.

Neuronas aferentes células nerviosas que llevan los impulsos hacia el sistema nervioso central.

Neuronas eferentes neuronas que transmiten los impulsos desde el sistema nervioso central.

Neuronas células del sistema nervioso especializadas en transmitir mensajes por todo el organismo.

Neurotransmisor sustancia química liberada por las neuronas que puede, en unión con receptores de neuronas o células efectoras, estimularlas o inhibirlas.

Neutralización (1) reacción química que se produce entre un ácido y una base; (2) bloqueo de los efectos dañinos de las exotoxinas bacterianas o los virus mediante la unión de anticuerpos a sus zonas funcionales.

Neutrófilo el más abundante de los glóbulos blancos.

Neutrón partícula subatómica sin carga; se encuentran en el núcleo atómico.

Nódulo atrioventricular (Nodo AV) masa de células conductoras especializada localizada en el cruce atrioventricular del corazón.

Nódulo sinoatrial masa de células especializadas de miocardio en las paredes del atrio derecho; pacificador del corazón.

Núcleo cuerpo central denso que presentan la mayoría de las células, el cual contiene el material genético de las células.

Nucleolos cuerpos esféricos pequeños del núcleo celular. Intervienen en la síntesis de los ribosomas.

Núcleos basales zonas de sustancia gris situadas bajo la sustancia blanca de los hemisferios cerebrales; también denominados ganglios basales.

Nucleótido bloque constructor de ácidos nucleicos.

Número atómico número de protones de un átomo.

Número de masa atómica suma del número de protones y neutrones del núcleo de un átomo.

Occipital perteneciente a la parte posterior de la cabeza.

Oclusión cierre u obstrucción.

Oftalmológico perteneciente al ojo.

Ombligo marca el lugar del cordón umbilical en la etapa fetal.

Oposición acción por la cual el dedo gordo se utiliza para tocar las puntas de los demás dedos de la misma mano. Esta acción hace que la mano humana sea una herramienta de gran precisión para agarrar y manipular cosas.

Óptico perteneciente al ojo.

Oral relativo a la boca.

Orbital zona del ojo.

Organelas estructuras especializadas en una célula que desarrollan funciones metabólicas específicas.

Organismo ser vivo individual.

Órgano parte del cuerpo formada por dos o más tejidos que desempeñan una función especializada.

Órganos linfoides órganos del sistema linfático, entre los que se incluyen los vasos linfáticos, los ganglios linfáticos, el bazo y las amígdalas; véase *sistema linfático*.

Origen acoplamiento de un músculo que permanece relativamente fijo durante la contracción muscular.

Orina filtrado que contiene desechos e iones sobrantes excretados por los riñones.

Osmorreceptor estructura sensible a la presión osmótica o concentración de una solución.

Ósmosis difusión de un disolvente a través de una membrana desde una solución diluida en otra más concentrada.

Osteoblastos células de la formación de huesos.

Osteocito célula ósea madura.

Osteoclastos grandes células que reabsorben o descomponen la matriz ósea.

Osteona sistema de canales interconectados de la estructura microscópica de un hueso compacto maduro; unidad ósea.

Osteoporosis mayor debilidad en los huesos provocada por una reducción gradual del ritmo de formación ósea; se trata de una enfermedad común en los ancianos.

Ótico perteneciente al oído.

Otolito una de las pequeñas masas calcificadas del utrículo y el sáculo del oído interno.

Ovario órgano sexual femenino en el que se producen los óvulos.

Ovogénesis proceso de formación de los óvulos.

Ovulación liberación de un óvulo u un ovocito del ovario.

Óvulo gameto femenino.

Oxidación proceso por el que las sustancias se combinan con oxígeno, o eliminación de hidrógeno.

Oxihemoglobina hemoglobina combinada con oxígeno.

Paladar cielo de la boca.

Palpación examen mediante el tacto.

Páncreas glándula posterior al estómago, situada entre el bazo y el duodeno. Produce secreciones endocrinas y exocrinas.

Pancreocimina hormona intestinal que estimula la contracción de la vesícula biliar y la liberación del jugo pancreático.

Papila pequeña protuberancia con forma de pezón.

Papilas gustativas receptores del gusto en la lengua, el paladar, la faringe y la laringe.

Parálisis pérdida de la función muscular.

Paraplejia parálisis de las extremidades inferiores.

Parietal perteneciente a las paredes de una cavidad.

Parotídeo localizado cerca del oído.

Patela rótula.

Patogénesis desarrollo de una enfermedad.

Patógeno microorganismo que provoca enfermedades (algunas bacterias, hongos y virus).

Pectoral perteneciente al pecho.

Pedúnculo tallo de fibras, especialmente el que conecta el cerebelo al puente, el mesoencéfalo y la médula oblongada.

Pelvis estructura en forma de cuenca; parte inferior del esqueleto del tronco corporal.

Pene órgano masculino para la copulación y la micción.

Pepsina enzima capaz de digerir proteínas en un pH ácido.

Pericardio saco membranoso que envuelve el corazón.

Perimisio tejido conectivo que envuelve los paquetes de fibras musculares.

Perineo región del cuerpo que se extiende desde el ano hasta el escroto en los hombres y desde el ano hasta la vulva en las mujeres.

Perineuro envoltura gruesa de tejido conectivo que une grupos de fibras en un nervio, formando fascículos o paquetes de fibras.

Periodo refractario periodo en el que no se emiten respuestas a la estimulación de umbrales.

Periostio tejido conectivo de dos capas que cubre y alimenta el hueso.

Peristalsis ondas de contracción que se producen en los órganos con forma de tubo; Impulsa las sustancias a lo largo del tracto.

Peritoneo membrana serosa que recubre el interior de la cavidad abdominal y la superficie de los órganos abdominales.

Peritonitis inflamación del peritoneo.

Permeabilidad propiedad de las membranas que permite el paso de las moléculas y los iones.

Peroneal perteneciente a la parte lateral de la pierna.

Peso atómico media de los números de masa de todos los isótopos de un elemento.

pH símbolo de la concentración de iones de hidrógeno; medida de la acidez relativa o alcalinidad de una solución.

Pielonefritis inflamación de la pelvis del riñón y de los tejidos que rodean el riñón.

Pinocitosis engullimiento de fluido extracelular por parte de las células.

Pirámide estructura con forma de cono de un órgano.

Pirógeno agente o sustancia química que provoca la fiebre.

Placenta órgano temporal que proporciona nutrientes y oxígeno al feto en desarrollo, elimina desperdicios y produce las hormonas del embarazo.

Plano coronal véase *plano frontal.*

Plano frontal (coronal) plano longitudinal que divide el cuerpo o un órgano en partes anteriores y posteriores.

Plano transversal plano que divide el cuerpo o sus partes en zonas inferiores y superiores; también se denomina sección transversal.

Plantar perteneciente a la planta del pie.

Plaqueta uno de los fragmentos irregulares de la sangre; interviene en la coagulación.

Plasma parte líquida de la sangre.

Pleura membrana serosa que cubre los pulmones y la cavidad torácica.

Pleuritis inflamación de la pleura que provoca una respiración dolorosa.

Plexo red de nervios y vasos sanguíneos o linfáticos entrelazados.

Plica pliegue.

Polarizado estado de una neurona o célula muscular en el cual el interior de la célula es relativamente negativo en comparación con el exterior; estado de reposo.

Policitemia presencia de un número excesivamente alto de eritrocitos en la sangre.

Polipéptido cadena de aminoácidos.

Polisacárido literalmente, muchos azúcares; polímero de monosacáridos unidos. Algunos ejemplos son el almidón y el glucógeno.

Potencial de acción situación eléctrica generada cuando un estímulo de suficiente intensidad se aplica a una neurona o a una célula muscular, que permite que los iones de sodio se muevan hacia la célula y reviertan la polaridad.

Potencial graduado cambio local en el potencial de la membrana que varía directamente con la fuerza del estímulo; se reduce con la distancia.

Precipitación formación de complejos insolubles que se asientan fuera de la solución.

Presión sistólica presión generada por el ventrículo izquierdo durante la sístole.

Presorreceptor nervio que termina en la pared del seno carotídeo y el arco de la aorta sensible al estiramiento de los vasos.

Proceso conjunto de acciones encaminadas a lograr un objetivo determinado.

Pronación rotación hacia el interior del antebrazo que provoca que el radio cruce de forma diagonal sobre el cúbito (las palmas quedan mirando hacia atrás).

Propioceptor receptor situado en un músculo o tendón. Está relacionado con la locomoción, la postura y el tono muscular.

Proteína fibrosa proteína con forma de hebra que aparece a menudo en las estructuras corporales. Resultan muy importantes a la hora de unir estructuras y proporcionar fuerza a determinados tejidos corporales.

Proteína globular proteína cuya estructura funcional es básicamente esférica. También se la denomina proteína funcional. Comprende las encimas de la hemoglobina y algunas hormonas.

Proteína sustancia nitrogenada compleja. El principal material constructor de células.

Proteinuria presencia de proteínas en la orina.

Protón partícula subatómica con carga positiva; está situada en el núcleo atómico.

Protuberancia prominencia.

Proximal dirigido hacia el extremo acoplado de una extremidad o el origen de una estructura.

Pubertad periodo en el que los órganos reproductores se vuelven funcionales.

Púbico perteneciente a la zona genital.

Puente (1) cualquier estructura o parte con forma de puente; (2) zona cerebral que conecta la médula con el mesoencéfalo, lo que proporciona la comunicación entre los niveles superiores e inferiores del sistema nervioso central.

Pulmonar perteneciente a los pulmones.

Pulso expansión rítmica y retroceso de las arterias que resulta de la contracción cardiaca. Se puede sentir desde fuera del organismo.

Pupila abertura en el centro del iris a través de la cual la luz se introduce en el ojo.

Pus fluido producto de la inflamación compuesto de glóbulos blancos, restos de células muertas y líquido.

Queratina proteína insoluble y resistente que se encuentra en tejidos como el pelo, las uñas y la epidermis de la piel.

Quiasma óptico cruce parcial de fibras de los nervios ópticos.

Quiasma intersección de dos estructuras, como los nervios ópticos.

Quilíferos capilares linfáticos especiales del intestino delgado que absorben los lípidos.

Quimiorreceptores receptores sensibles a las distintas sustancias químicas de una solución.

Quimo contenido estomacal semilíquido que se compone de alimentos parcialmente digeridos en parte y de secreciones gástricas.

Quininas grupo de polipéptidos que dilatan las arteriolas, aumentan la permeabilidad vascular e inducen dolor.

Radiactividad proceso de descomposición espontánea que se observa en algunos de los isótopos más pesados, durante el cual se emiten partículas o energía desde el núcleo atómico. El resultado del proceso es un átomo más estable.

Radiar divergir de un punto central.

Radioisótopo isótopo que muestra un comportamiento radiactivo.

Rama rama de un nervio, arteria, vena o hueso.

Reacción de descomposición reacción química destructiva en la que las sustancias complejas se descomponen en sustancias más simples.

Reacción de intercambio reacción química en la que los enlaces se crean y se destruyen; los átomos se combinan con diferentes átomos.

Reacción de síntesis reacción química en la que se forman moléculas más grandes a partir de otras más sencillas.

Reacción química proceso por el que las moléculas se forman, se modifican o se descomponen.

Receptor (1) terminación nerviosa periférica especializada en la respuesta a determinados tipos de estímulo; (2) molécula que se une específicamente a otras moléculas como las hormonas o los neurotransmisores.

Reducción restauración de las terminaciones óseas rotas (o de un hueso dislocado) a su posición original.

Reflejo reacción automática a un estímulo.

Refractar doblar; suele refererirse a la luz.

Región pilórica parte final del estómago; se une al duodeno.

Regla descarga mensual de sangre desde el útero.

Renal perteneciente al riñón.

Renina sustancia liberada por los riñones que interviene en el aumento de la presión sanguínea.

Repolarización restauración del potencial de la membrana al estado de reposo inicial *(polarizado).*

Resistencia periférica resistencia al flujo sanguíneo prestada por los vasos sanguíneos sistémicos; medida de la cantidad de fricción que encuentra la sangre.

Respiración aeróbica respiración en la que se consume oxígeno y se descompone totalmente la glucosa; los productos finales son agua, dióxido de carbono y grandes cantidades de ATP.

Respiración celular proceso metabólico en el que se produce ATP.

Respiración externa intercambio de gases entre los alvéolos y la sangre (intercambio de gas pulmonar).

Respiración interna utilización de oxígeno por las células corporales; también se denomina *respiración celular.*

Respuesta (inmunitaria) primaria respuesta inicial del sistema inmunitario ante un antígeno; está relacionada con la selección clónica y establece la memoria inmunitaria.

Respuesta (inmunitaria) secundaria respuesta secundaria y subsiguiente del sistema inmunitario a un antígeno conocido previamente; más rápida y vigorosa que la respuesta primaria.

Respuesta autoinmune producción de anticuerpos o células T efectoras que atacan el propio tejido de la persona.

Respuesta graduada respuesta que varía directamente con la fuerza del estímulo.

Respuesta inmunitaria defensas específicamente antigénicas organizadas por linfocitos activados (células T y B).

Retículo red fina.

Retículo endoplásmico red membranosa de canales tubulares o en forma de saco en el citoplasma de una célula.

Retina capa del ojo sensible a la luz; contiene conos y bastones.

Retorcido enrollado, torcido.

Retroalimentación negativa retroalimentación que hace que el estímulo disminuya o cese.

Retroalimentación positiva retroalimentación que tiende a provocar que una variable cambie en la misma dirección del cambio inicial; mejora el estímulo.

Ribosomas organelas citoplásmicas donde se sintetizan las proteínas.

Ritmo metabólico energía gastada por el cuerpo por unidad de tiempo.

Rotar girar sobre un eje.

Rugosidades elevaciones y crestas, como en la mucosa del estómago.

Sacral porción inferior de la espalda; inmediatamente por encima de las nalgas.

Sal compuesto iónico que se disocia en partículas cargadas (diferentes de iones de hidrógeno e hidróxilo) al disolverse en agua.

Saliva secreción de la glándula salival que se conduce a la boca.

Sarcómero unidad de músculo contráctil más pequeña. Se extiende desde un disco Z al siguiente.

Sebo secreción aceitosa de las glándulas sebáceas.

Sección sagital (plano) plano longitudinal (vertical) que divide el organismo o cualquiera de sus partes en dos áreas: izquierda y derecha.

Sección sagital media plano sagital específico que se encuentra exactamente en la línea media.

Secreción (1) paso de material formado por una célula al exterior de ésta; (2) producto celular que se transporta al exterior de la célula.

Segmentación fase inicial del desarrollo embrionario que consiste en divisiones celulares rápidas sin la intervención de periodos de crecimiento.

Segundo mensajero molécula intracelular generada por el enlace de una sustancia química a un receptor de membrana. Interviene en las respuestas intracelulares.

Selección clonal proceso por el cual una célula B o T se sensibiliza a través del contacto vinculante con un antígeno.

Semen mezcla de fluido producido por las estructuras reproductoras masculinas. Contiene esperma, nutrientes y mucosidad.

Seno carotídeo dilatación de una arteria carótida común; implicado en la regulación de la presión sanguínera sistémica.

Seno (1) cavidad recubierta por la membrana mucosa y rellena de aire en determinados huesos del cráneo; (2) canal dilatado para el paso de la sangre o la linfa.

Sida síndrome de inmunodeficiencia adquirida. Provocado por el virus de la inmunodeficiencia humana (HIV). Entre sus síntomas se encuentran una grave pérdida de peso, sudores nocturnos, ganglios linfáticos inflamados e infecciones oportunistas.

Símbolo atómico símbolo de una o dos letras que designa un elemento concreto.

Sinapsis región de comunicación entre las neuronas.

Sinartrosis articulación inmóvil.

Síndrome de Cushing enfermedad producida por el exceso de secreción de la hormona corticosuprarrenal; se caracteriza por acumulación de tejido adiposo, aumento de peso y osteoporosis.

Sinergistas músculos que cooperan con otro músculo o grupo muscular para producir un movimiento deseado.

Síntesis de deshidratación proceso por el cual una molécula más grande se sintetiza desde moléculas más pequeñas mediante la eliminación de una molécula de agua en cada parte de la formación del enlace.

Sistema grupo de órganos que cooperan para un propósito común; existen 11 sistemas principales en el organismo humano.

Sistema cardiovascular sistema de órganos que distribuye la sangre a todas las partes del organismo.

Sistema digestivo sistema que procesa los alimentos en unidades absorbibles y elimina los deshechos no digeribles.

Sistema endocrino sistema corporal que comprende los órganos internos que secretan hormonas.

Sistema esquelético sistema de protección y soporte compuesto principalmente de huesos y cartílagos.

Sistema harvesiano véase *osteona*.

Sistema integumentario la piel y sus órganos accesorios.

Sistema linfático sistema de vasos linfáticos, ganglios linfáticos, y otros órganos y tejidos linfoides.

Sistema muscular sistema orgánico compuesto por los músculos esqueléticos y sus acoplamientos al tejido conectivo.

Sistema nervioso sistema de control de actuación inmediata que utiliza los impulsos nerviosos para desencadenar la contracción muscular o la secreción glandular.

Sistema nervioso autónomo división del sistema nervioso que funciona de forma involuntaria; inerva el músculo cardiaco, los músculos lisos y las glándulas.

Sistema nervioso central (CNS) formado por el cerebro y la médula espinal.

Sistema nervioso periférico (PNS) sistema de nervios que conecta las partes periféricas del cuerpo con el sistema nervioso central.

Sistema nervioso somático división del sistema nervioso periférico; también se denomina sistema nervioso voluntario.

Sistema orgánico grupo de órganos que colaboran para desarrollar una función corporal vital; por ejemplo, el sistema nervioso.

Sistema portal hepático circulación en la cual la vena portal hepática transporta nutrientes disueltos desde el tracto digestivo hasta el hígado para procesarlos.

Sistema reproductor sistema orgánico que trabaja para producir descendencia.

Sistema respiratorio sistema orgánico que realiza el intercambio de gases. Comprende la nariz, la faringe, la laringe, la tráquea, los bronquios y los pulmones.

Sistema urinario sistema responsable del equilibrio hídrico, electrolítico y ácido-base, así como de la expulsión de desechos de nitrógeno de la sangre.

Sistémico general; perteneciente a todo el organismo.

Sístole fase de contracción de la actividad cardiaca.

Solución mezcla homogénea de dos o más componentes.

Solución amortiguadora sustancia o sustancias que ayudan a estabilizar el pH de una solución.

Soluto sustancia disuelta en una solución.

Soplo cardiaco sonido anormal del corazón (normalmente resultante de problemas en las válvulas del mismo).

Subcutáneo debajo de la piel.

Suma acumulación de efectos, especialmente de los estímulos mentales, sensoriales, o musculares.

Superficial (externo) situado cerca o sobre la superficie corporal.

Superior hace referencia a la cabeza o a las zonas corporales superiores.

Supinación rotación hacia fuera del antebrazo que hace que las palmas queden orientadas hacia delante.

Surco hendidura en el cerebro; es menos profundo que una fisura.

Surfactante sustancia química que recubre las paredes de los alvéolos pulmonares y reduce la tensión de la superficie, lo cual evita el colapso de los alvéolos tras la expiración.

Sustancia blanca zona blanca del sistema nervioso central; fibras nerviosas mielinizadas.

sustancia gris zona gris del sistema nervioso central; contiene fibras nerviosas no mielizadas y cuerpos celulares nerviosos.

Suturas uniones fibrosas inmóviles que conectan los huesos del cráneo adulto.

Tálamo masa de sustancia gris en el diencéfalo del cerebro.

Taquicardia pulso cardiaco excesivamente rápido, superior a 100 latidos por minuto.

Tarso uno de los siete huesos que forman el tobillo y el talón.

Tasa metabólica basal ritmo al que el organismo gasta energía (calor producido) por unidad de tiempo bajo condiciones controladas (basales): 12 horas después de una comida y en reposo.

Tejido grupo de células similares especializadas en desarrollar una función determinada; entre los tipos de tejido primario se encuentran el tejido epitelial, el conectivo, el muscular y el nervioso.

Tejido conectivo tejido primario; su forma y su función varían ampliamente. Entre sus funciones se encuentran el apoyo, el almacenamiento y la protección.

Tendón de Aquiles tendón que une los músculos de la pantorrilla con el calcáneo, el hueso del talón, también llamado tendón calcáneo.

Tendón cuerda de tejido fibroso compacto que une un músculo a un hueso.

Termorreceptor receptor sensible a los cambios de temperatura.

Testículo órgano sexual primario masculino; produce esperma.

Testosterona hormona sexual masculina producida por los testículos; durante la pubertad promueve la virilización y resulta necesaria para la producción normal de esperma.

Tétanos (1) estado tenso y contraído de un músculo; (2) enfermedad infecciosa.

Tic muscular contracción rápida de un músculo seguida de su relajación.

Tono muscular contracción parcial sostenida en respuesta a los receptores del estiramiento; mantiene la salud muscular y su disposición a reaccionar.

Torácico relativo al pecho.

Tórax óseo huesos del tórax, entre los que se incluyen las costillas, el esternón y las vértebras torácicas.

Tórax parte del tronco corporal situada por encima del diafragma y por debajo del cuello.

Tracto conjunto de fibras nerviosas en el CNS que presentan el mismo origen, terminación y función.

Transporte activo movimiento neto de una sustancia a través de una membrana frente a una concentración o gradiente eléctrico; requiere la liberación y la utilización de energía celular.

Transporte pasivo procesos de transporte de membranas que no precisan energía celular (ATP), es decir, difusión conducida por energía cinética.

Tráquea tubo respiratorio que se extiende desde la laringe hasta los bronquios.

Trauma lesión, herida o *shock* causado normalmente por fuerzas externas.

Trifosfato de adenosina (ATP) compuesto que constituye la fuente de energía intracelular más importante; energía celular.

Triglicéridos compuestos formados por ácidos grasos y glicerol; grasas y aceites; también se denominan grasas neutrales.

Trocánter protuberancia grande y roma.

Trombina enzima que induce la coagulación al convertir el fibrinógeno en fibrina.

Tromboflebitis inflamación de una vena asociada a la coagulación de la sangre.

Trombo coágulo fijo que se desarrolla y permanece en un vaso sanguíneo no roto.

Trompa de Falopio véase *tubo uterino*.

Tronco del encéfalo parte del encéfalo compuesta por la médula, la protuberancia anular y el mesoencéfalo.

Tubérculo nódulo o protuberancia pequeña y redondeada.

Tuberosidad protuberancia más ancha y grande que un tubérculo.

Tubo faringotimpánico (auditivo) tubo que conecta el oído medio y la faringe; permite que la presión se iguale en las dos partes del tambor del oído; también se denomina *trompa de Eustaquio*.

Tubo uterino oviducto. Tubo por el que el óvulo se transporta hasta el útero; también se denomina trompa de Falopio.

Túbulos seminíferos tubos muy enrevesados que forman el esperma dentro de los testículos.

Túnica capa de tejido, cobertura.

Úlcera lesión o erosión de la membrana mucosa, como la úlcera gástrica o de estómago.

Unidad motora una neurona motora y todas las células musculares a las que suministra.

Unión neuromuscular región donde una neurona motora entra en estrecho contacto con una célula de un músculo esquelético.

Urea principal desecho que contiene nitrógeno y se expulsa en la orina.

Uréter tubo que transporta la orina del riñón a la vejiga.

Uretra canal por el que pasa la orina desde la vejiga al exterior del cuerpo.

Úvula tira de tejido que cuelga del paladar blando.

Válvulas semilunares válvulas que evitan el retorno de la sangre a los ventrículos tras la contracción.

Vascular perteneciente a los canales o vasos sanguíneos.

Vaso conducto.

Vaso capilar pequeño vaso sanguíneo que comunica las arteriolas con las vénulas.

Vasoconstricción estrechamiento de los vasos sanguíneos.

Vasodilatación relajación de los músculos blandos de los vasos sanguíneos que produce dilatación.

Vellosidades salientes con forma de dedos en la pared del intestino delgado que aumentan de forma considerable la superficie de absorción.

Vena vaso que transporta la sangre desde los tejidos al corazón.

Venas cavas dos vasos sanguíneos grandes que drenan sangre pobre en oxígeno desde las venas al lado derecho del corazón.

Ventilación pulmonar respiración; se compone de inspiración y expiración.

Ventral anterior o frontal.

Ventrículos (1) cámaras de descarga del corazón; (2) cavidades del encéfalo.

Vénula vena pequeña.

Vesícula biliar saco situado debajo del lóbulo derecho del hígado utilizado para el almacenamiento de bilis.

Visceral perteneciente a la parte interna de una estructura o a los órganos internos.

Vísceras órganos internos.

Viscosidad cualidad de pegajoso.

Vitaminas compuestos orgánicos requeridos por el organismo en pequeñas cantidades para el mantenimiento fisiológico y el crecimiento.

Volumen corriente cantidad de aire inhalado o exhalado en una respiración normal.

Volumen sistólico volumen de sangre expulsado por un ventrículo durante la sístole.

Vulva genitales externos femeninos.

Yeyuno parte del intestino delgado entre el duodeno y el íleon.

Zigoto óvulo fertilizado; producto de la unión de dos gametos.

Zónula ciliar ligamento suspensorio que une el cristalino al cuerpo ciliar en el ojo anterior.

Índice analítico

NOTA: *t* indica el número de página de las tablas; *f* indica el número de pagínas de las figuras, y *r* hace referencia a un recuadro.

Abducción, 199
Aborto, 567
Absceso, 413
Absorción, 89, 481, 483
Accidentes cerebrovasculares (CVA), 252
Acción
  de la hormona eseroide, 312*f*
  de la hormona no esteroide, 312*f*
Acetábulo, 164
Acetilcolina, 189
ACh, 189
Ácido(s), 42, 43
  acético, 500
  acetoacético, 500
  débiles, 43, 536
  desoxirribonucleico (DNA), 55, 67
  fuertes, 43, 536
  grasos omega 3, 49
  láctico, 195
  nucleicos, 42, 54
  ribonucleico (RNA), 55, 86
  úrico, 524
  y bases, 43
Acidosis, 326, 342, 460, 498, 535
  fisiológica, 535
Acino respiratorio, 447
Acné, 119
Acontecimientos
  de la meiosis, 558*f*
  durante la ovogénesis, 558*f*
Acortamiento, 98, 183
Acromatopsia, 288
Acromegalia, 315
Acromión, 160
Acrosoma, 551
Actina, 73, 189
Activación
  de las células T e interacciones con otras células de la respuesta inmunitaria, 424*f*
  del complemento que causa la lisis de la célula diana, 413*f*
  genética directa, 311
Activador de la protrombina, 350
Actividad(es)
  de los músculos esqueléticos, 189
  del estómago, 485
  del intestino delgado, 489
  del intestino grueso, 492
  en la boca, la faringe y el esófago, 485
Acueducto de Silvio, 248
Adaptación, 290
Adenina, 55, 444
Adenosín
  difosfato (ADP), 55
  trifosfato (ATP), 55, 56*f*
Aducción, 199
Aductor, 204
Aerolar, 96*f*
Afasia(s), 254
  motora, 254
  sensitiva, 254
Aferencias sensitivas, 229
Agentes
  pirógenos, 415
  químicos antimicrobianos, 414*t*
  quimiotácticos, 413
Aglutinación, 351, 424
Aglutininas, 351
Aglutinógenos, 351
Agotamiento a causa del calor, 506
Agranulocitos, 345, 346*t*
Agua (H_2O), 12, 39*f*, 42, 533
Agudeza visual, 286
Agujero(s)
  magno, 145
  obturador, 164
  sacros posteriores, 157
  vertebral, 155
  yugular, 145
Alas, 157, 162
Albúmina, 342, 501
Alcalosis, 342, 460, 535
Alcohol, 391
Aldosterona, 322, 533
Alergias, 430
Almacenamiento, 135
Almidón, 46, 483
Aloinjertos, 427
Alopecia, 127
Alumbramiento, 569
  salida de la placenta, 570*t*
Alvéolos, 149, 441, 447
Alzheimer, Parkinson y Huntington, 253
American Cancer Society, 126
Amígdala(s), 408, 444, 408
  faríngea, 444
  linguales, 444
  palatinas, 444
Amigdalitis, 408, 444
Amilasa
  pancreática, 490
  salivar, 480
Aminoácido(s), 49, 86
  esenciales, 495
Amitóticos, 101
Amnios, 566
Amoníaco, 500
Amortiguación, 42
Amortiguadores de la sangre, 535
AMP cíclico, 311
Ampolla, 124, 115, 297, 546
  hepatopancreática, 476
Anabolismo, 495
Anafase, 84, 85*f*
Anatomía, 2, 232
  básica de los músculos esqueléticos, 206
  de la boca (cavidad oral), 471*f*
  de la cóclea, 298*f*
  de la división parasimpática, 266
  de la división simpática, 267
  de la glándula tiroides, 320*f*
  de la médula espinal vista posterior, 255*f*
  de la membrana respiratoria (barrera aerohemática), 449*f*
  de la oreja, 294, 295*f*
  de las fibras de un músculo esquelético (células), 188*f*
  de un lecho capilar, 377*f*
  del aparato respiratorio superior en un corte sagital, 443*f*
  del corazón, 362
  del estómago, 474*f*
  del ojo, 281
  del sistema autónomo, 267*f*
  del sistema digestivo, 469
  del sistema reproductor femenino, 553
  funcional del aparato respiratorio, 441
  funcional del encéfalo, 242
  general, 135
  general de los vasos sanguíneos, 378

general del corazón, 363*f*, 364*f*
interna del ojo (sección digital), 285*f*
interna del riñón, 520*f*
microscópica, 137
microscópica de los músculos esqueléticos, 187
microscópica de los vasos sanguíneos, 374
superficial del ojo y estructuras secundarias, 282*f*
y fisiología del sistema digestivo, 469
Anclajes de los músculos (origen e inserción), 199*f*
Andrógenos, 120
Anejos cutáneos, 116*f*, 119
Anemia, 343
falciforme, 343
Anencefalia, 272
Anfiartrosis, 166
Angina de pecho, 368
Angiotensina, 390
II, 323
Ángulo esternal, 157
Aniones, 36
Ano, 471
Anosmias, 302
Anquilosis, 173
Antagonistas, 202
Antebraquial, 16
Antebrazo, 160
Antecubital, 16
Anterior/ventral, 16*f*
Anticodón, 88
Anticuerpo(s), 351, 415, 421
inmunoglobulina, 51*t*, 426*t*
monoclonales, 421
Antidiurético, 532
Antídoto, 421
Antígeno(s) (Ag), 351, 416, 417, 427*t*
incompleto, 416
libres, 425
Antitoxina, 421
Antro, 553, 557
pilórico, 472
Anuria, 524
Aorta, 364*f*, 365, 378
abdominal, 378
ascendente, 378
torácica, 378
Aparato
de Golgi, 72
digestivo, 7
excretor, 7
lagrimal, 282
reproductor, 7
respiratorio, 441
urinario, 7, 518
vestibular, 296
yuxtaglomerular, 535
Apéndice, 477
Apendicitis, 478, 507
Apertura nasal posterior, 443
Apex, 447
Apice, 362
Apnea, 460
Apófisis, 136, 138*t*
articulares superior e inferior, 155
cigomática, 145
coracoides, 160
coronoidea, 161
del olécranon, 161
espinosa, 155
estiloides, 145
mastoidea, 145
palatinas, 148
transversa, 155
xifoide, 157
Aponeurosis, 185
Apoplejías, 252
Aporte energético, 502
Aquaporinas, 77
Arachnida, 251
Aracnoides, 251
Arbol respiratrorio o bronquial, 447
Arco(s)
aórtico, 378
reflejos, 240
reflejos simples, 241*f*
venoso dorsal, 380
vertebral, 155
Ardor de estómago, 567
Area(s)
de Broca, 243
del lenguaje, 243
motora primaria, 243
sensitiva y motora de la corteza cerebral, 245*f*
somatosensitiva primaria, 242
superficial, 503*t*
Areola, 561
Arrector pili, 122
Arteria(s), 374
arciformes, 521
axilar, 378
basilar, 383, 383*f*
braquial, 378
bronquiales, 378
carótida común D., 378
carótida común I., 378
carótida interna, 383, 383*f*
cerebral media, 383*f*
cerebrales anterior y media, 383
cerebrales posteriores, 383
circunflejas, 367
coronarias, 367
coronarias derechas (D.), 378
de la circulación sistémica, 378, 379*f*
de lumen, 375*f*
esofágicas, 378
esplénica, 378
femoral, 378
frénicas, 378
gástrica I, 378
gonadales, 378
hepática común, 378
ilíaca externa, 378
ilíaca interna, 378
ilíacas comunes, 378
intercostales, 378
interlobulares, 521
interventriculares anteriores, 367
interventriculares posteriores, 367
lumbares, 378
marginales, 367
mesentérica inferior, 378
mesentérica superior, 378
ováricas, 378
pedia dorsal, 378
poplítea, 378
profunda del muslo, 378
pulmonar izquierda, 364*f*
pulmonares, 364*f*, 365
radial y ulnar, 378
radiales corticales, 521
renal, 378, 521
subclavia D., 378
subclavia I., 378
testiculares, 378
tibiales anterior y posterior, 378
umbilicales, 383
vertebral, 378, 383, 383*f*
Arterioesclerosis, 273
Arteriola, 374
aferente, 523
eferente, 523
terminal, 377, 377*f*
Arteriosclerosis, 388
Articulación(es), 134, 166
acromioclavicular, 160
cartilaginosas, 168, 169*f*
condiloidea, 171, 172*f*
en bisagra, 171, 172*f*
en pivote, 171, 172*f*
en silla de montar, 171, 172*f*
enartrósica, 171, 172*f*
esternoclavicular, 160
fibrosas, 168
intervertebrales, 168
plana, 170, 172*f*
radioulnares, 160
sacroilíaca, 162
sinovial típica, 112*f*
sinoviales, 168, 169*f*
xifisternal, 157
Artritis, 173
gotosa, 174
reumatoide (RA), 173, 429
Asa
de Henle, 521
metabólica, 83
-asa, 52

Asimetría, 126
Asma, 451, 464
Aspectos del desarrollo
de células y tejidos, 101
del sistema linfático y defensas del organismo, 431
del sistema reproductor, 571
Astas, 149
dorsales o posteriores, 256
ventrales o anteriores, 256
Astrocitos, 231*f*, 230
Ataque isquémico transitorio, 255
Ataxia, 248
Atelectasia, 451
Aterosclerosis coronaria, 374
Atlas, 155
y axis, 156*f*
Átomos, 4
ATP, 493
estructura e hidrólisis, 56*f*
ATP, 55
Aurícula, 365
derecho, 363*f*, 364*f*, 369*f*
izquierdo, 363*f*, 364*f*
Atrofia, 104, 197
Auras olfatorias, 302
Aurícula, 294
Auscultación, 388
Autoanticuerpos, 429
Autoantígenos,416, 417
Autoinjertos, 427
Autotolerancia, 417
Auxiliar de enfermería (AE), 462*r*
Avascular, 89, 115
Axilar, 17
Axis, 155
Axón(es) 189, 232
postganglionar, 262
preganglionar, 262
Ayuda(s)
a la perdida y retención del calor corporal (controladas por el sistema nervioso), 114*t*
en la excreción de urea y de ácido úrico, 114*t*
Azúcar(es)
de la sangre, 45, 496
dobles, 45
simples, 45
Azufre, 30*t*, 33*t*

B, 353*t*
Balance hídrico, 531
Bandas alternativas claras (I) y oscuras (A), 187
Barorreceptores, 389
Barrera(s)
hematoencefálica, 252
de la membrana de superficie, 409, 414*t*
Base(s), 42, 43, 362, 447
complementarias, 55
débiles, 536
fuertes, 536
Basófilos, 345, 346*t*
Bazo, 407
Biaxial, 171
Bicarbonatos, 536
Bíceps, 204
del brazo, 211, 217*t*
femoral, semimembranoso y semitendinoso, 214
Bicúspide o mitral, 366
Bilis, 476
Biopsia de la médula ósea, 349
Bioquímica: la composición química de la materia viva, 41
Bipeniforme, 205
Blastocito, 565
tardío, implantación, 564*f*
temprano, 564*f*
Bloqueo cardiaco, 369
Boca, 470, 471
Bocio, 321*f*, 319
Bolo, 480
Bolsas y vainas de los tendones, 112
Bombeo
de sodio-potasio, 79
de solutos, 78, 79
muscular, 372
Borde(s), 126
anterior, 165
ciliado, 476
libre, 122
Bostezo, 452*t*
Bradicardia, 369
Braquial, 17, 211, 217*t*, 264*t*
Braquiorradial, 211
Brazo, 160
Bronquiolo(s), 447
respiratorio, 447
terminales, 447
Bronquios principales (primarios), 445
Bronquitis crónica, 460, 461
Bucal, 17
Buccinador, 207, 217*t*
Buffers, 44
Bulbo(s), 247, 248, 284
Bursitis, 172

Cabeza, 138*t*, 189, 551
Cadena(s)
de transporte de electrones, 498*f*
ligeras, 422
pesadas, 421
respiratoria, 496
simpática, 268
Caja torácica, 144*f*, 157
Calcáneo, 166
Calcio, 30*t*, 33*t*
Calcitoquina, 319, 320
Cálculos
biliares, 481
renales, 528
Cálices, 521
Callo
fibrocartilaginoso, 143
óseo, 143
Calor, 410
Calvicie masculina, 127
Cámara(s)
cardiaca, 364*f*
de descarga, 365
receptoras, 365
y grandes vasos asociados, 365
Cambios
anatómicos, 566
de presión, 449
de volumen, 449
en la presión intrapulmonar y flujo aéreo durante la inspiración y la espiración, 451*f*
en las dimensiones anteroposterior y superoinferior, 450*f*
físicos, 27
fisiológicos, 567
químicos, 27
CAMP, 311
Campos visuales, 291
de los ojos y ruta visual hasta el cerebro, 290, 291*f*
Canal(es)
anal, 477
auditivo, 294
carotídeo, 145
central, 256
centrales (de Havers), 139
de la raíz, 480
de Schlemm, 289
del parto, 556
óptico, 145
perforantes (de Volkmann), 140
sacro, 157
semicirculares, 295
Canalículos, 139
lagrimales, 282
Cáncer, 102*r*
de cérvix, 556
de mama, 561
de piel, 125
de próstata, 549
de pulmón, 458*r*
Canino (colmillo), 479, 479*f*
Capa(s)
circular, 472
de electrones, 35
de la pared del globo ocular, 283
de valencia, 35
fibrosa, 283

Capa(s) *(cont.)*
funcional, 559
leucocitaria, 340
longitudinal, 472
meníngea, 249
muscular externa, 472, 473
neural, 284
papilar, 117
parietal, 112, 363
parietal del pericardio seroso, 364*f*
perióstica, 249
pigmentada, 284
reticular, 118
sensorial, 284
vascular, 283
visceral, 112, 363
Capacidad vital (VC), 452
Capilar(es), 375*f*
fenestrados, 394
glomerulares, 523
linfáticos, 404
peritubulares, 523
permeables, 100
verdaderos, 377, 377*f*
Cápsula
articular fibrosa, 170
de Bowman, 521
fibrosa, 519
grasa perirrenal, 519
Características
comunes del tejido conectivo, 93
de la orina, 524
de las bases, 43
de las regiones vertebrales, 156*f*
de los ácidos, 43
de los elementos figurados de la sangre, 346*t*
especiales del epitelio, 89
físicas y volumen, 340
sexuales secundarias, 552, 561
Carbono (C), 30*t*, 33*t*, 36*f*
Carboxipeptidasa, 490
Carcinoma
de células basales, 125
de células escamosas, 126
Cardiofisiología, 2
Carnes y alternativas a la carne, 494*t*
Caroteno, 118
Carótida
externa I., 378
interna I., 378
Carpiano, 17
Carpo, 162
Cartílago, 94, 134
articular, 136, 170
elástico, 94
hialino, 94, 95*f*, 444
Caspa, 117
Catabolismo, 495
Catalasa, 73
Catalizador, 52
enzima, 51*t*
Cataratas, 289
Catión, 36
Cavidad(es), 137
abdominal, 20
articular, 170
de tuétano amarillo o medular, 136
dorsal del cuerpo, 20
glenoide, 160
nasal, 22, 441
oral, 471
pélvica, 20
pulpar, 480
timpánica, 294
ventral del cuerpo, 20
bucal y digestiva, 22
corporales abiertas, 22
del oído medio, 22
orbitales, 22
pericárdica, 364*f*
abdominopélvica, 20, 20*f*
craneana, 20, 20*f*
medular, 20, 20*f*
torácica, 20, 20*f*
del cuerpo, 17, 20*f*
Ceguera nocturna, 286
Célula(s), 4, 65, 311
absorbentes, 477*f*
alfa, 327
B, 406, 416, 426*t*
B de memoria, 419*f*, 426*t*
basales, 302
beta, 326
binucleadas (con dos núcleos) o multinucleadas, 85
bipolares, 286
caliciformes, 478
callosas, 117
columnares, 90
cuboidales, 90
de cubilete, 90
de la microglía, 231*f*
de memoria, 419, 427
de plasma, 418, 419*f*
de Schwann, 232
de soporte, 98, 230
de soporte (gliales) del tejido nervioso, 231*f*
del músculo esquelético y del músculo liso, 75
del sistema de defensa adaptativo: resumen, 416
en anillo de sello, 97
enteroendocrinas, 475
epitelial, 74
escamosas, 90
fagocítica, 75
foliculares, 553
ganglionares, 286
gliales, 230
grasa, 75
gustativas, 302
hija, 83
hija tipo A, 551
hija tipo B, 551
implicadas en la reproducción, 75
inspiratorias autoexcitables, 456
intersticiales, 546
madre, 347
madre linfoides, 347
madre mieloides, 347
mucosas del cuello, 475
muscular, 194
nerviosa, 75, 232
neurosecretoras, 318
parafoliculares, 320
parietales, 475
plasma, 419*f*
plasmáticas,406, 426*t*
presentadora de antígenos, 426*t*
principales, 475
que almacena nutrientes, 75
que combate enfermedades, 75
que conectan partes del cuerpo, 74
que cubre y reviste órganos del cuerpo, 74
que mueven órganos y partes del cuerpo, 75
que reúne información y controla las funciones del cuerpo, 75
receptoras olfatorias, 301
sanguíneas, 98
satélite, 232
T, 329
t, 416
T citotóxicas (asesinas), 425, 426*t*
T cooperadoras, 425, 426*t*
T reguladora, 426*t*, 427
T supresoras, 427
tipo, 66
Celulosa, 483
Cemento, 480
Centriolos, 73
Centro(s), 155
de control respiratorio, vías aferentes y nervios efectores, 457*f*
de control, 12, 13*f*
de la sed, 532
germinales, 406
Centrómero, 84
Cera del oído, 294
Cerebelo, 242, 248, 383*f*
Cerebro, 242
Cerumen, 294
Cervical, 16*f*,17, 264*t*
Cérvix, 555
Cesárea, 571
Cetoacidosis, 498
Choque circulatorio, 124, 391
Cianosis, 119, 460

Cianóticos, 455
Ciclo
  cardiaco, 369
  de Krebs, 496
  de la vida celular, 83
  de la vida humana, 550*f*
  del corazón y los ruidos cardiacos, 369
  ovárico, 557, 560*f*
  uterino (menstrual), 559, 560*f*
Ciego, 477
Cifosis, 154
Cilios, 73, 555
Cilium, 282
Cinc, 30*t*
Cinco reglas de oro, 198
Cininas, 411
Cintillas ópticas, 291
Cintura
  del hombro, 158
  pectoral, 158
  pélvica, 162
Circuito
  pulmonar, 365*f*
  sistémico, 365*f*
Circulación(es)
  cardiaca, 367
  especiales, 383
  fetal, 383, 384*f*
  portal hepática, 385, 386*f*, 500
  portal, 316
  pulmonar, 365
  sistemática, 365
  sistémica y pulmonar, 365*f*
Circular, 204
Círculo arterial cerebral o polígono de Willis, 383, 383*f*
Circumducción, 199
Circuncisión, 549
Circunvoluciones, 242
Cirrosis, 481
Cistitis, 529, 548
Cisura(s), 242
  de Rolando, 242
  de Silvio, 243
  interhemisférica, 242
citoquinas, 418, 426*t*
Citocinesis, 83, 84
Citoesqueleto, 73, 74*f*
Citoplasma, 66, 66*f*, 69
Citosina, 55
Citosol, 69
Clases
  de anticuerpos, 422
  de inmunoloblobulina, 422*t*
  de membranas epiteliales, 111*f*
Clasificación
  de las membranas corporales, 110
  de las neuronas según su estructura, 237*f*
  de los huesos, 135
  de los huesos según su forma, 136*f*
  del tejido epitelial, 89, 89*f*
  estructural, 229, 236
  funcional, 229, 235
Clavícula, 158
Clítoris, 556
Clon, 418
  de células idénticas a las células ancestrales, 419*f*
Cloro, 30*t*, 33*t*
  gas venenoso, 34*f*
Coagulación, 349, 349*f*, 350
  indeseada, 350
Coágulo de fibrina, 350*f*
Cobalto, 30*t*
Cobertura, 88
Cobre, 30*t*
Cóclea, 295
Codones, 86
Coenzimas, 495
Cola de caballo, 256
Colágeno, 50, 118
Colapso vertebral debido a la osteoporosis, 175*f*
Colecistoquinina (CCK), 490*t*, 491
Colesterol, 47*t*, 49, 67, 501
Colmillo, 479*f*
Coloide, 42
Colon, 477
  ascendente, 478
  descendente, 478
  sigmoide, 478
  transverso, 478
Color, 126
  de la piel, 118
Columna(s)
  cervical, 151*f*
  dorsales, 256
  renales, 521
  torácica, 151*f*
  vertebral (espina dorsal), 144*f*, 145, 150, 151*f*
Columnar, 89*f*
Comisuras, 245
Comparación
  de eritrocitos, 343*f*
  de los músculos esqueléticos, cardiacos y lisos, 184*t*
  del potencial de acción, 192*f*
Compartimentos de fluidos, 531
Complejos
  antígeno-anticuerpo, 424
  de ataque de membrana (MAC), 413
Complemento, 413, 427*t*
Componentes, 340
  anormales de la orina, 528*t*
  del tejido conectivo, 184*t*
Composición y funciones de la sangre, 340, 341*f*
Compresión, 142*t*
Compuestos
  inorgánicos, 42
  orgánicos, 42, 45
Comunicación entre neuronas en las sinapsis químicas, 240*f*
Concentración de partículas reactivas, 41*t*
Conchas nasales
  inferiores, 149
  superior y media, 148
Condiciones eléctricas de la membrana en reposo, 238*f*
Cóndilo(s), 138*t*, 160
  lateral y medial, 164
  occipitales, 145
Conducción saltatoria, 239
Conductividad, 98, 237
Conducto(s)
  alveolar, 447
  arterial, 385
  biliar, 476, 481
  cístico, 481
  coclear, 298
  colector, 521, 523
  deferente, 546
  eyaculador, 548
  hepático común, 481
  linfático derecho, 404
  mamarios o galactóforos, 561
  nasolagrimal, 282
  pancreáticos, 476
  torácico, 404
  venoso, 384
Conexonas, 69
Congelación de extremidades, 504
Congestión
  periférica, 374
  pulmonar, 374
Conjuntivitis, 282, 304
  aguda, 282
Conminuta, 142*t*
Conmoción, 252
Conos, 284
Constantes vitales, 387
Constrictores, 293
Consumo y pérdida de agua, 533*f*
Contenido inadecuado de hemoglobina en los glóbulos rojos, 344*t*
Contracción de un músculo esquelético, 194
Contracción(es), 183, 369
  de Braxton Hicks, 569
  de los haustros, 492
  isométricas, 197
  isotónicas, 197
  rítmica, 184*t*
Contracepción, 574*r*
Contractilidad, 189

Control(es), 88
de la liberación de hormonas, 311
de la respiración, 456
del sistema respiratorio, 537
hormonal de los testículos, 552*f*
hormonales de los niveles de calcio iónico en la sangre, 322*f*
involuntario, 98
neurales (ANS), 372
Contusión, 252
Convergencia, 293
Convexidad relativa de la lente, 290*f*
Corazón, 362
Cordón
espermático, 546
umbilical, 383, 566
Corea de Huntington, 246
Córnea, 283
Cornetes, 442
Coroides, 283
Corona, 480
radiada, 557
Corpúsculos
de Meissner, 117
de Pacini, 118
Corteza, 121, 242, 406
suprarrenal, 322, 331*t*
cerebral, 242
renal, 520
Corticosteroides (hormonas corticosuprarrenales), 47*t*, 322
Cortisol, 323
Cortisona, 323
Costillas, 157
falsas, 158
flotantes, 158
verdaderas, 157
Coxal, 17
Coxas óseas, 162
Coxis, 150, 151*f*, 157
Cráneo, 145, 148*f*
fetal, 149, 150*f*
Creatinina, 524
Crecimiento, 11, 76
aposicional, 140
Crepitación, 173
Crepitantes, 453
Cresta, 138*t*
ampular, 297
ilíaca, 162
intertrocantérica, 164
sacra media, 157
Cretinismo, 319
Criptorquidia, 573
Crista galli, 148
Cristae, 71
Cromátida, 84
Cromatina, 66*f*, 67
Cromo, 30*t*
Cromosomas, 67, 83
Crural, 17
Cuadrado lumbar, 219*t*, 210
Cuadrantes, 20
Cuadriceps, 204
Cuarto ventrículo, 248
Cuboidal, 89*f*
Cuello, 480
anatómico, 160
quirúrgico, 160
Cuerdas
tendinosas, 364*f*, 366
vocales, 444
vocales verdaderas, 444
Cuernos, 149
Cuerpo(s), 122, 149, 155, 157, 555
calloso, 245
ciliar, 283
lúteo, 554, 558, 561
mamilares, 246
pineal, 329, 330*t*
polar, 557
vítreo, 289
Cúpula, 297
Curvatura(s)
anormales de la columna vertebral, 154*f*
lumbar, 151*f*
mayor, 473
menor, 473
primarias, 151
sacra, 151*f*
Cutícula, 121, 122
Dadores de protones, 43
Defecación, 483
Defensa(s)
adaptativas del organismo, 415
celulares y químicas: según línea defensiva, 414*t*
corporal innata o no-específica, 409
del organismo, 408, 408*t*
innatas del organismo, 409
internas: células y sustancias químicas, 409
Deficiencias auditivas y del equilibrio, 300
Déficit de oxígeno, 196
Deglución, 485, 486*f*
Deltoides, 210, 217*t*, 219*t*
Dendritas, 232
Denominación de los músculos esqueléticos, 202
Densofibroso, 95*f*
Dentina, 480
Depresiones, 137
Derivación
muscular, 377*f*
vascular, 377, 377*f*
Dermatitis, 127
alérgica de contacto, 123, 431
Dermis, 115, 116*f*, 117
Derrames cerebrales, 252
Desarrollo
de las células de la sangre, 347*f*
del aparato respiratorio, 461
del feto humano, 568*t*
folicular del ovario, 558*f*
Descomposición de los alimentos, 485
digestión mecánica, 483
digestión química, 483
y absorción, 489, 492
Desechos nitrogenados, 524
Desequilibrio(S), 13*f*
homeostático, 15
homeostáticos de la piel, 123
Desmosomas, 69
Desórdenes de la inmunidad, 429
Desoxirribosa, 45, 55
Despolarización, 239
local, 239
y generación de un potencial de acción, 238*f*
Determinación del grupo sanguíneo ABO, 354*f*
Deuterio (H_2), 32*f*
Diabetes
insípida, 319, 533
mellitus, 326, 429, 498
Diáfisis, 135
Diafragma, 20
Diagnóstico *de novo,* 464
Diagrama
de la desnatralización de una molécula de proteina funcional, 52*f*
de la digestión química y la absorción de productos alimentarios, 484*f*
de los bronquiolos respiratorios, los conductos alveolares y los alvéolos, 448*f*
de los mecanismos inflamatorios, 411*f*
Diámetro, 126
Diapédesis, 344, 412
Diarrea, 493
Diartrosis, 166
Diástole, 369
Diencéfalo, 242, 246
y estructuras del tronco encefálico, 247*f*
Dientes, 479
de leche, 479
infantiles, 479
permanentes, 479
primarios y permanentes de los humanos, 479, 479*f*

Dieta, 391
Diferenciación y activación de los linfocitos, 417*f*
Difusión, 76, 77*f*, 492
  a través de la membrana plasmática, 78*f*
  facilitada, 77
  facilitada mediante transporte, 78*f*
  facilitada mediante un canal, 78*f*
  simple, 77, 78*f*
Digestión, 11, 469, 481
  de alimentos, 76
  química, 485
Digital, 17
Dilatación del cérviz, 570*t*
Dióxido de carbono (CO_2), 39*f*
Disacáridos, 45, 483
Disco(s)
  herniados, 151
  intercalados, 98, 186
  intervertebrales, 151
  óptico, 286
  Z, 187
Dislocación, 170
Disnea, 460, 568
Disociación, 42
  de los ácidos fuertes y débiles, 536*f*
  de una sal en el agua, 43*f*
Disolvente, 42, 76
Disposición
  de las células musculares cardiacas y lisas, 185*f*
  de los fascículos, 204
Distal, 18*t*
Distocia, 570
Distrés respiratorio del recién nacido (IRDS), 461
Distribución
  de los pares craneales, 260*t*
  de los nervios periféricos de las extremidades, 265*f*
  de vasos linfáticos y ganglios linfáticos, 406*f*
  y características de los capilares linfáticos, 405*f*
Distrofia muscular, 221
  de Duchenne, 221
Disuria, 529
Diuresis, 318, 530, 532
Diuréticos, 319
Divergir, 290
Diversidad celular, 74, 75*f*
Divertículos, 492
Diverticulosis, 492
División
  celular, 83
  craneosacra, 266
  motora o eferente, 230
  parasimpática, 266, 270
  sensitiva o aferente, 229
  simpática, 266, 270, 372
  toracolumbar, 267
Doble reconocimiento, 425
Dolor, 410
  de cabeza sinusal, 443
Dorsal
  ancho, 210, 219*t*
  posterior, 18*t*
Doula (monitora del parto), 572*r*
Duodeno, 476
  del intestino delgado y órganos relacionados, 476*f*
Duramadre, 249

Ectodermo, 565
Edad, 503*t*
Edema, 403, 97
  cerebral, 252
  pulmonar, 374
Efector, 12, 13*f*
Efectos
  de la gestación en la madre, 566
  de la liberación de la ADH, 534*f*
  de las divisiones simpática y parasimpática, 269*f*
  de un entrenamiento aeróbico frente a uno de fuerza, 197*f*
  de varios factores en la tensión arterial, 388
  del ejercicio en los músculos, 197
  vasodilatador, 391
Eferencias motoras, 229
Eferente, 12
Eje, 121, 549
Ejercicios de resistencia o isométricos, 198
Elasticidad, 189
Electrocardiografía, 368, 370*r*
Electrolito, 43, 65, 531
Electrón (e^-), 29, 31, 35
Elefantiasis, 431
Elementos
  comunes que componen el cuerpo humano, 30*t*
  de un sistema de control homeostático, 13*f*
  figurados, 340, 342
  químicamente activos, 36*f*
  químicamente inertes, 36*f*
  químicamente inertes y reactivos, 36*f*
Elevación, 126
Embolia pulmonar, 377
Embolo, 350
  cerebral, 350
Embrión, 545, 565, 565*f*, 566*f*
Emesis, 487
Eminencia intercondilar, 164
Emociones fuertes (enfado o miedo) e infecciones, 503*t*
Enanismo pituitario, 314
Encefalitis, 251
Encéfalo, 246*f*
Encía, 480
Endocardio, 363, 364
Endocardio, 364*f*
Endocarditis, 366
Endocitosis, 81
  mediada por receptores, 82
Endocrinología, 310
Endodermo, 566
Endolinfa, 296
Endometrio, 556
Endomisio, 185
Endoneuro, 258
Energía, 27
  cinética, 76
Enfermedad(es)
  autoinmunes, 429
  cerebrales, 252
  coronaria, 397
  de Addison, 535
  de Graves, 320, 429
  de Huntington, 246
  de Parkinson, 246
  hemolítica del recién nacido, 354
  inmunodeficiente combinada grave (SCID), 431
  pélvica inflamatoria (EPI), 555
  pulmonar obstructiva crónica (EPOC), 460
  respiratorias, 460
Enfisema, 460, 461
Enlaces
  covalentes, 36
  de disulfuro, 421
  de hidrógeno, 39
  de hidrógeno entre moléculas polares de agua, 39*f*
  fosfato de alta energía, 55
  intramoleculares, 39
  iónicos, 35
  químicos y reacciones químicas, 35
Entrada, 164
Envoltura(s)
  de tejido conectivo de los músculos esqueléticos, 185*f*
  nuclear, 67
Envuelta nuclear, 66*f*
Enzimas, 50, 52, 86
  de bordes ciliados, 476, 489
  y actividad enzimática, 52
Eosinófilos, 345, 346*t*
Ependimocitos, 231, 231*f*
Epicardio, 363, 364*f*

Epicóndilos medial y lateral, 160
Epicraneano, 207
Epidermis, 115, 116*f*
de la piel gruesa, 115*f*
Epididimitis, 573
Epidídimo, 546
Epífisis, 136, 247
Epiglotis, 444
Epimisio, 185
Epinefrina, 373, 391
Epineuro, 258
Epiplón menor, 473
Epitálamo, 246, 247
Epitelio, 88
estratificado, 89, 90
estratificado cuboidal y columnar, 90
estratificado escamoso, 90
glandular, 93
pseudoestratificado columnar, 90
pseudoestratificado columnar ciliado, 90
simple, 89, 90
simple columnar, 90
simple cuboidal, 90
simple escamoso, 90
superficial, 101, 472
transicional, 90, 529
Equilibrio, 281
ácido-base, 535
de fluidos, electrolítico y ácido-base, 531
dinámico, 296, 297
energético del organismo, 502
estático, 296
Erección, 549
Erector de la espina dorsal, 219*t*, 210
Eritema, 119
Eritrocito(s), 74, 340, 342, 342*f*, 346*t*
Eritropoyetina, 333*t*, 348, 518
Escala pH y valores de pH de sustancias representativas, 44*f*
Escápulas, 160
Escherichia coli, 538, 573
Esclera, 283
Esclerosis, 234
múltiple (MS), 429
Escoliosis, 154
Escotadura
ciática mayor, 164
supraescapular, 160
troclear, 161
yugular, 157
Escroto, 549
Esfínter(es), 204
abiertos, 377*f*
anal externo, 478
cardioesofágico, 472
cardioesofágico relajado, 486*f*
cerrados, 377*f*
esofágico superior contraído, 486*f*
esofágico superior relajado, 486*f*
involuntario, 478
involuntario interno, 478
pilórico, 473, 476
precapilar, 377, 377*f*
uretral externo, 529
uretral interno, 529
voluntario, 478
Esmalte, 480
Esofagitis, 486
Esófago, 443, 444, 471, 472
Espacio
muerto, 453
pleural, 447
sináptico, 189
subaracnoideo, 251
Espalda (dorsal), 16*f*
Espasmos
musculares, 194
vasculares, 349, 349*f*
Especie animal diferente, 427
Espermátidas, 551
Espermatocito primario, 551
Espermatogénesis, 550, 550*f*
Espermatogonias, 550
Espermatozoide, 75, 545
Espermiogénesis, 551
Espina, 138*t*
bífida, 272
dorsal, 150
ilíaca superior anterior, 162
ilíaca superior posterior, 162
isquial, 162
Espinal (accesorio), 260*t*
Espiración, 451
Espiración, 450*f*
forzada, 451
Espiral, 142*t*
Espirómetro, 453
Espolón, 173
Esqueleto
apendicular, 134, 158
axial y apendicular, 145
axial, 134, 145
de la cabeza humana, 144*f*, 145, 147*f*
Esquema
del sistema hepático y los vasos asociados, 385*f*
de las vías ascendentes y descendentes, 257*f*
Estabilización de las articulaciones, 187
Estaño, 30*t*
Esterilidad, 553
Esternocleidomastoideo, 207, 217*t*
Esternón, 157
Esteroides, 47*t*, 49, 310
Estímulo(s), 12
de la glándula endocrina, 311, 313*f*
hormonales, 311
nervioso y el potencial de acción, 189
neurales, 312
umorales, 312
Estómago, 471, 472
Estornudo, 452*t*
Estradiol, 561
Estrato(s), 115
basal, 116
córneo, 117
espinoso, 117
germinativo, 116
granuloso, 117
lúcido, 117
Estreñimiento, 493
Estresantes de largo tiempo, 323
Estriaciones, 98
Estribo, 295
Estriol, 561
Estrógenos, 329, 561
Estroma, 98, 447, 561
Estructura(s)
atómica de los tres átomos más pequeños, 32*f*
atómicas de los elemenos más abundantes en el organismo, 33*t*
básica de la pared del tubo digestivo, 473*f*
básica de la vejiga y uretra femeninas, 429*f*
básica de un anticuerpo, 421, 421*f*
de aminoácidos, 50*f*
de la membrana plásmatica, 68*f*
de la neurona, 522*f*
de la piel, 115, 116*f*
de los huesos largos, 135
de los vasos sanguíneos, 375*f*
de un espermatozoide, 551*f*
de un ganglio linfático, 407*f*
de un hueso largo, 137*f*
de un nervio, 258*f*
de un pelo y del folículo capilar, 121*f*
de una articulación sinovial, 171*t*
de una célula, 70*f*
de una neurona motora, 233*f*
de una proteína fibrosa y una proteína globular, 51*f*
de una uña, 123*f*
del DNA, 54*f*
del nervio, 258
externas y secundarias, 281

internas: el globo ocular, 283
microscópica de la glándula suprarrenal, 323*f*
microscópica del hueso compacto, 139*f*
nerviosas, 116*f*
respiratorias, 448*f*
secundarias, 281
secundarías del ojo, 283*f*
y función de la cresta ampular, 297*f*
y función de las máculas, 296*f*
Eupnea, 456
Evaporación, 504
Excitabilidad, 189, 237
Excreción, 11
Excrementos, 11
Exocitosis, 81, 81*f*
Exoftalmos, 320
de la enfermedad Graves, 321*f*
Exotoxinas, 424
Expulsión: salida del bebé, 570*t*
Extensibilidad, 189
Extensión, 199
Extensor, 204
de los carpos del radio, 219*t*
de los dedos, 219*t*
largo de los dedos, 214, 217*t*
Extremidad
inferior, 16*f*
superior, 16*f*
Eyaculación, 548

Faceta, 137, 138*t*
Factor(es)
de necrosis tumoral (TNF), 427*t*
emocionales, 457
estimulantes de colonias, 348
físicos, 373, 456
intrínseco, 475
neurales: el sistema nervioso autónomo, 389
no neurales, 456
que aumentan la velocidad de las reacciones químicas, 41*t*
que determinan el índice metabólico basal (BMR), 503*t*
que influyen en la velocidad de las reacciones químicas, 41
que modifican la frecuencia cardiaca básica, 372
químicos, 457
renales: los riñones, 390
Fases de la mitosis, 85*f*
Fagocitos, 97, 409, 414*t*
Fagocitosis, 82
por un macrófago, 410*f*
Falanges, 162, 166
Fallo
renal y riñones artificiales, 526*r*
sistémico de la presión/volumen sanguíneo, 534*f*
Falso parto, 569
Faringe, 443, 470, 472
Fascia renal, 519
Fascículo auriculoventricular (AV) (haz de His), 368, 369*f*
Fascículo, 185
Fase(s)
bucal, 485
de alarma, 326
de alumbramiento, 571
de dilatación, 570
de expulsión, 570
de la curación de una fractura ósea, 143*f*
de resistencia, 326
de sensibilización, 430*f*
de traducción, 86
del parto, 570, 570*t*
faringoesofágica, 485
indiferenciada, 571
por un macrófago, 410*f*
Fatiga muscular, 195
y déficit de oxígeno, 195
Fémur, 164
Fenilcetonuria (PKU), 506
Fenotipo falciforme, 344
Fertilización, 563, 564
Feto, 545, 566
Fibra(s), 232, 483
adrenérgicas, 269
colinérgicas, 269
de Purkinje, 368, 369*f*
elásticas, 118
musculares, 98, 183
musculares esqueléticas, 183
nerviosa, 189
perforantes o de Sharpey, 135
sensitivas (aferentes) somáticas, 229
sensitivas viscerales o aferentes viscerales, 229
Fibrilación, 369
Fibrina, 350
Fibrinógenos, 350
Fibroblastos, 74, 97
Fibrocartílago, 94, 95*f*
Fibrosis, 100
quística (CF), 461, 506
Fibular
corto, 214
largo, 214
Fiebre, 414*t*, 415, 506
reumática, 430
Fijación del complemento, 413
Filamentos, 552
de actina, 189
de miosina, 189
finos, 189
gruesos, 189
intermedios, 73
olfatorios, 301
Filtración, 76, 77, 89
glomerular, 523, 523*f*, 524
Fimbrias, 554
Fimosis, 573
Fisiología, 2, 237
celular, 76
de la circulación, 387
del corazón, 368
respiratoria, 448
Fístula
orbital superior, 145
traqueoesofágica, 506
Fisura, 138*t*
intercelulares, 394
palatina, 442
palpebral, 282
Flagelos, 73
Flexión, 199
dorsal y flexión plantar, 202
Flexor, 204
de los carpos del cúbito, 219*t*
de los carpos del radio, 219*t*
superficial de los dedos, 219*t*
Fluctuación de niveles
de gonadotropina, 560*f*
de hormonas ováricas, 560*f*
Fluido(s)
corporales y compartimentos de los fluidos, 531
extracelular, 531
intracelulares, 531
Flujo de gases, 449
Flúor, 30*t*
Folículo(s), 319, 406
capilar, 121, 122
vesicular o de Graaf, 553, 557
ováricos, 553
primarios, 557
Fontanela(s), 150
anterior, 150
Footing, 197, 198
Foramen, 138*t*
oval, 145
Formación
crecimiento y remodelación óseos, 140

Formación *(cont.)*
de ATP, 499*f*
de células sanguíneas, 135
de cuatro enlaces covalentes simples, 38*f*
de enlaces covalentes, 38*f*
de glóbulos blancos y plaquetas, 348
de glóbulos rojos, 347
de hematomas, 143*f*
de la orina, 523
de los enlaces, 35
de tampón de plaquetas, 349, 349*f*
de un enlace covalente doble, 38*f*
de un enlace covalente simple, 38*f*
de un enlace iónico, 37*f*
del callo fibrocartilaginoso, 143*f*
del callo óseo, 143*f*
reticular, 248
y crecimiento de los huesos largos, 141*f*
y desarrollo de la piel y las membranas corporales, 127
y desarrollo de la sangre, 354
y desarrollo del aparato urinario, 538
y desarrollo del encéfalo humano, 243*f*
y desarrollo del esqueleto, 174
y desarrollo del sistema cardiovascular, 395
y desarrollo del sistema digestivo y el metabolismo, 506
y desarrollo del sistema endocrino, 332
y desarrollo del sistema muscular, 221
y desarrollo del sistema nervioso, 272
Fórmula molecular, 34
Fosa(s), 138*t*
coronoidea, 160
del olécranon, 160
gástricas, 473
intercondilar, 164
oval, 364*f*
Fosfato(s), 536
de creatina (CP), 195
Fosfolípidos, 47*t*, 49, 67
Fosforilación
directa de ADP mediante fosfato de creatina, 195
oxidativa, 195
Fósforo, 30*t*, 33*t*
Fotografía(s)
de carcinomas cutáneos, 126*f*
de un feto en desarrollo, 567*f*
de una catarata, 289*f*
de una úlcera por presión profunda (fase III), 118*f*
Fóvea central, 286
Fractura(s), 142, 143
cerrada (o simple), 142
abierta (o compuesta), 142
óseas, 142
patológicas, 176
Frecuencia, 194, 538
cardiaca (HR), 372
respiratoria, 456
Frenillo lingual, 471
Fructosa, 45, 483
Frutas, 494*t*
FSH, 316
Fuentes alimentarias de los nutrientes esenciales, 494
Funcionamiento
autónomo, 268
de bombeo del conjunto sodio-potasio, 79*f*
de la bomba muscular, 376*f*
de las válvulas cardiacas, 367*f*
de las células y las moléculas implicadas en la inmunidad, 426*t*
de los anticuerpos, 423
de los huesos, 134
de los músculos, 187
Funciones
del sistema digestivo, 481
del sistema integumentario, 114, 114*t*
del sistema nervioso, 229*f*
metabólicas generales, 500
reproductoras masculinas, 550
vitales necesarias, 10
y ciclos reproductores femeninos, 557
Fundus, 472, 555
Furúnculos y carbúnculos, 123
Fusiforme, 205
Fusionado, 194

Galactosa, 45, 483
Gametos, 545, 551
Gammaglobulína, 421
Ganglio(s), 234, 268
basales, 245
colateral, 268
de la raíz dorsal, 256
linfáticos, 405
linfáticos agregados, 477
linfáticos regionales, 406*f*
terminal, 266
Garganta, 443, 472
Gases, 27
Gasto cardiaco (CO), 372, 376
Gastrina, 333*t*, 475, 485, 490*t*
intestinal, 333*t*, 490*t*
Gastrocnemio, 214, 219*t*
Gastroenteritis, 507
Gemelo idéntico, 427
Gen(es), 86, 417
diseño de la estructura de las proteínas, 86
Generación de calor, 187
Genitales externos, 549, 556
femeninos, 556*f*
Gestación, 566
Gigantismo, 314
Glande, 549
Glándula(s), 93
suprarrenales, 322, 331*t*
alveolares, 561
anexas y semen, 548
apocrinas, 120
bulbouretrales, 548, 549
ceruminosas, 294
ciliares, 282
cutáneas, 119
ecrinas, 119
endocrinas, 93
exocrinas, 93, 119
gástricas, 473
inflamadas, 405
lagrimales, 282
mamarias, 561
mamarias femeninas, 562*f*
paratiroideas, 313, 321, 331*t*
parótidas, 480
pineal, 247, 329
pituitaria, 246, 314, 330*t*, 383*f*
que carecen de conductos, 314
salivares, 480
sebáceas (oleosas), 119
sublinguales, 480
submandibulares, 480
sudoríparas, 119, 561
suprarrenal, 519
tarsianas, 282
timo, 329, 331*t*, 408
tiroides, 319, 330*t*, 331*t*
vestibulares mayores, 556
Glaucoma, 289
Glías, 230
Glicerol, 46
Glicocálix, 68
Gliomas, 232
Globo ocular, 283
Glóbulo(s)
blancos (WBC), 344
rojos (RBC), 74, 342, 528*t*
Glomérulo, 521
Glomerulonefritis, 429, 538
Glosofaríngeo, 260*t*, 302
Glotis, 444
Glucagón, 326
Glucocáliz, 68
Glucocorticoides, 323

Glucogénesis, 500
Glucógeno, 46, 500
Glucogenólisis, 500
Glucólisis, 195, 496
  anaeróbica, 195
  anaeróbica y formación de ácido láctico, 195
Gluconeogénesis, 500
Glucoproteínas, 68
Glucosa, 45, 483, 496, 528*t*
Glúteo
  mayor, 211, 219*t*
  medio, 211, 219*t*
Golpe letal, 425
Gónadas, 316, 329, 331*t*, 545
  masculinas, 546
Gonadotropina coriónica humana (hCG), 332, 565
Gonorrea, 304, 555
Gota, 174
Gradiente
  de concentración, 77
  de presión, 77
  de tensión arterial, 387
Granulocitos, 345, 346*t*
Granzimas, 425
Grasa(s), 97, 499*f*
  hidrogenadas, 49
  neutras, 46, 494
  neutras (triglicéridos), 47*t*
  trans, 49
Gravedad específica, 525
Grupo(s)
  ácido, 49
  amino (NH_2), 49
  del cuádriceps, 214, 217*t*
  R, 49
  representativos de proteína funcionales, 51*t*
  sanguíneos ABO, 353
  sanguíneos, 351, 353*t*
  sanguíneos Rh, 353
  sanguíneos y transfusiones, 351
Guanina, 55
Guanosín monofosfato cíclico [cGMP], 311
Guardián de la vía aérea, 444
Gusto, 281, 302
Gyrus, 242

Haces, 234
  de asociación, 245
  de proyección, 245
  motores o eferentes, 257
  sensitivos o aferentes, 256
Hapteno, 416
Haustros, 479
Haz corticoespinal o piramidal, 243
HDL, 502
Heces, 492
Hechos del desarrollo embrionario y fetal, 565
Hélice doble, 83
Helio (He), 32*f*, 36*f*
Hematocrito, 340
Hematoma, 119, 143
Hematopoiesis (formación de las células de la sangre), 347
Hematopoyesis, 4, 347
Hemianopsia, 291
Hemiplejías, 254
Hemisferios cerebrales, 242
Hemocitoblasto, 347
Hemofilia, 351
Hemoglobina (Hb), 342, 528*t*
  anormal en los glóbulos rojos, 344*t*
  falciforme, 343*f*
  normal, 343*f*
  rica en oxígeno, 118
Hemólisis, 353
Hemorragia intracraneal, 252
Hemostasis, 349, 349*f*
Hendidura sináptica, 232
Hepatitis, 481
Hermafroditas, 573
Hernia hiatal, 486
Herpes *simplex,* 117, 123
Hiato sacro, 157
Hidrato(s) de carbono, 42, 45, 45*f*, 494, 499*f*
Hidrólisis de ATP, 56*f*
Hidrocefalia, 251
Hidrofílico, 67
Hidrofóbico, 67
Hidrógeno (H), 30*t*, 32*f*, 33*t*, 36*f*
Hidrolasas, 52
Hidrólisis, 46, 483
Hidronefrosis, 520
Hierro, 30*t*, 33*t*
Hígado, 481
  función en el metabolismo, 500
  y vesícula biliar, 481
Higienista dental, 14*r*
Hilio, 406, 445
  renal, 519
Himen, 556
Hinchazón, 410
Hipercalcemia, 140, 321
Hiperglucemia, 496
Hiperplasia, 104, 530
Hiperpnea, 456
Hipersensibilidad, 430
  inmediata, 430
  retardada, 431
Hipertensión, 391
  primaria o esencial, 391
Hipertermia, 504
  controlada, 506
Hipertiroidismo, 503
Hipertrofia, 198
Hiperventilación, 460
Hipo, 452*t*
Hipodermis, 115, 116*f*
Hipófisis, 246
Hipogloso, 260*t*
Hipoglucemia, 326, 496
Hipospadias, 538
Hipotálamo, 13, 246, 313, 330*t*, 504
Hipotensión, 391
  ortostática, 273, 391
Hipotermia, 504
Hipotiroidismo, 503
Hipoventilación, 460
Hipoxia, 455
Histamina, 345, 391, 411, 490*t*
Hitos corporales
  anteriores, 16
  posteriores, 17
Homeostasis, 12
Homúnculo
  motor, 243
  sensitivo, 242
Homunculus, 242
Hormona(s), 7, 51*t*, 310, 311
  adrenocorticotrópica (ACTH), 315
  antidiurética (ADH), 318, 532
  de la corteza suprarrenal, 322
  de la pituitaria anterior, 314, 315*f*
  de la pituitaria posterior, 318
  de los ovarios, 329
  del crecimiento (GH), 140, 314
  folículo-estimulante (FSH), 551, 557
  gonadotrópicas, 316
  hiperglucémicas, 323
  liberadas por el lóbulo posterior de la pituitaria, 318*f*
  liberadoras, 316
  luteinizante (LH), 552, 557
  paratiroidea (PTH), 321
  producidas por otros órganos, 333*t*
  que estimula la tiroides (TSH), 315
  que estimula los folículos, 316
  sexuales, 47*t*, 140
  tiroidea, 319
  tirotrópica (TH), 315
  trópicas, 314
  y productos similares a las hormonas, 490*t*
Hoz (hoces) del cerebro, 251
Huella(s)
  genética, 57*r*
  dactilares, 118
Hueso(s), 94, 94*f*, 167*r*
  carpianos, 162
  cigomáticos, 149
  compacto, 135
  corto, 135, 136*f*

Hueso(s)
coxales, 162
de la cadera, 162
de la canilla, 164
de la cintura del hombro, 158, 159*f*
de la cintura pectoral, 144*f*
de la cintura pélvica, 144*f*, 162
de la mano derecha, 162*f*
de los miembros inferiores, 164
de los miembros superiores, 160
del brazo y antebrazo derechos, 161*f*
del muslo, 164
del muslo y de la pierna derecha, 165*f*
descripción general, 134
esfenoides, 145
esponjoso, 135
etmoides, 147
faciales, 145, 148
frontal, 145
hioides, 149, 149*f*
irregulares, 135, 136*f*
lacrimales, 149
largos, 135, 136*f*
maxilares, 148
nasales, 149
palatinos, 149
parietales, 145
planos, 135, 136*f*
púbico, 164
sesamoideos, 135
tarsianos, 165
temporales, 145
vómer, 149
Húmero, 160
Humor, 312
acuoso, 289
vítreo, 289
Huso mitótico, 73, 84

Ictericia, 356, 481
fisiológica, 356
Ictus, 252
IgA, 422*t*
secretor, 423
IgD, 422*t*
IgE, 422*t*
IgG, 422*t*
IgM, 422*t*
IgS, 421
Ileon, 476
Ilion, 162
Iliopsoas, 212
Iliotibial, 211
Imagen real, 290
formada en la retina, 291*f*
Imágenes médicas, 8*r*
Immunodeficiencias, 431
Impétigo, 123, 124*f*
Implantación, 556
Impulsión de los alimentos: deglución y peristalsis, 485
Impulso, 239
nervioso, 4, 237, 239
Incisivos, 479, 479*f*
Inclusiones, 69
Incontinencia, 530
de estrés o de esfuerzo, 567
Indice metabólico
basal (IMB), 502, 503
total (TMR), 503
y producción de calor corporal, 502
Infantilismo sexual, 552
Infarto, 368
cerebral, 350
de miocardio, 368
Infecciones y alergias, 123
Inferior (caudal), 18*t*
Infundíbulo, 554
Ingestión, 469, 481
y descomposición de los alimentos, 485
Inguinal, 17
Inmunidad, 409
activa, 420
celular, 416
de mediación celular, 416
humoral, 416
humoral activa y pasiva, 420
mediada por anticuerpos, 416
pasiva, 420
Inmunocompetencia, 416
Inmunodeficiencias, 431
Inmunoglobulinas, 421
Inmunología, 415
Inserción, 199, 211
Insolación, 506
Inspiración, 450*f*, 451
Insuficiencia
cardiaca congestiva (CHF), 372, 374
respiratoria, 221
Insulina, 326
Integración, 229
Integumento, 114
Interacciones
de los músculos esqueléticos en el organismo, 202
hormonales de los ciclos femeninos, 560*f*
Intercambio
capilar de gases y nutrientes, 394
gaseoso, 453*f*
Interfase, 83, 85*f*
Interferón, 413, 415
Interleucinas, 348
Interneuronas o neuronas de asociación, 236
Intestino
delgado, 471, 475, 477*f*
grueso, 471, 475, 477, 478*f*
Intoxicación por monóxido de carbono, 455
Inversión y eversión, 202
Ión(es), 29, 35
bicarbonato (HCO_{32}), 43, 454
hidróxilo (OH2), 43
de calcio, 311
de hidrógeno (H1), 43
Iris, 283
Irritabilidad, 11, 98, 189
Islotes
de Langerhans, 326
pancreáticos, 326
Isoinjertos, 427
Isótopos, 33
del hidrógeno, 32*f*
Isquemia, 369
Isquion, 162

Jugo
gástrico, 475, 485
intestinal, 489

Ketosis, 326
Kilocalorías (kcal), 493, 502

Laberinto óseo, 295
Labio(s), 471, 556
fisurado, 506
mayores, 556
Lactógeno placentario humano (hPL), 332
Lactosa, 45, 483
Lacunae, 94
Laga del resfriado, 117
Lágrimas, 282
Lagunas, 139
Lámina(s), 155
propia, 97, 110, 472
Laminillas, 139
Lanugo, 127
Largo, 204
Laringe, 444
Laringofaringe, 443, 472
LDL, 502
Lecho(s)
capilares, 374, 377
ungueal, 122
Lengua, 471
Lenguaje de la Anatomía, 15
Lente, 288
Leptina, 333*t*
Lesiones cutáneas, 124*f*
Leucemia, 345
Leucocitos, 340, 344, 346*t*
Leucocitosis, 345
Leucopenia, 345
Lexura
derecha (o hepática) del colon, 478

izquierda (o esplénica) del colon, 478
Ley del corazón de Starling, 372
Ligamento(s), 97, 134, 166
ancho, 554
arterial, 385
de refuerzo, 170
falciforme, 481
ováricos, 554
redondo, 555
suspensorios, 554
Línea, 138*t*
epifisaria, 136
intertrocantérica, 164
M, 187
Linfa, 404
Linfoblastos B, 419*f*
Linfocitos, 342*f*, 345, 346*t*, 405, 409, 416
b, 416
citolíticos naturales (NK), 410, 414*t*
T, 329
Lipasas, 490
Lípidos, 42, 46, 47*t*, 48*f*, 494
Lipoproteínas, 47*t*
de alta densidad, 502
de baja densidad, 502
Líquido(s), 27
cefalorraquídeo (CFS), 251
intersticial (líquido tisular), 66, 76, 394
intracelular, 76
pleural, 447
seminal, 548
seroso, 112
Lisosomas, 73
Lisozima, 282, 409
Litio (Li), 32*f*
Litotricia, 528
Llagas del resfriado, 123, 124*f*
Llanto, 452*t*
Lobulillos, 561
Lóbulo(s), 242, 546, 561
anterior, 330*t*
frontal, 243, 383*f*
occipital, 243, 383*f*
parietal, 242
posterior, 330*t*
temporal, 243, 383*f*
Localización
de los problemas del CNS, 271*r*
del músculo, 204
del origen y la inserción del músculo, 204
y estructura, 518
Lordosis, 154
Lulas capilares, 298
Lúnula, 122
Lupus eritematoso sistémico (SLE), 429
Luz, 472

Macrófago, 75, 409, 410, 418
alveolares, 447
asesinos, 418
macroscópicos, 2
Máculas, 296
Magnesio, 30*t*, 33*t*
Maléolo
lateral, 165
medial, 165
Maltosa, 45, 483
Mamografía, 562
Mamogramas, 563*f*
Mandíbula, 149
Maniobra de Heimlich, 444
Mano, 161
Mantenimiento
de la postura, 187
de la vida, 10
de los límites, 10
del equilibrio ácido-base de la sangre, 535
del equilibrio electrolítico y del balance hídrico, 531
Manubrio, 157
Marcapasos, 368
Marcas óseas, 136, 138*t*
Margen alveolar, 148, 149
Martillo, 295
Masa
atómica, 32
celular interna, 565
Masetero, 207, 217*t*
Masoterapeutab, 220
Masticación, 472, 479
Mastoiditis, 145
Materia, 27
Matriz, 121
extracelular, 93
ungueal, 122
Maxilares, 148
Meato, 138*t*
acústico externo, 145, 294
acústico interno, 145
Mecanismo(s)
de acción de los anticuerpos, 423*f*
de contracción muscular, 192
de control homeostático, 12
de defensa adaptativos (específicos), 408*t*
de defensa innatos (no específicos), 408*t*
de la acción hormonal, 311, 312*f*
de la respiración, 449
de la sed, 532
de las células citotóxicas T, 425*f*
de pérdida de calor, 504
de promoción de calor, 504
de regulación de la temperatura corporal, 505*f*
de regulación del nivel de producción de glóbulos rojos, 348*f*
de respuesta hipersensible inmediata (aguda), 430*f*
de retroalimentación negativa, 13, 311
de retroalimentación positiva, 13
de retroalimentación positiva durante el alumbramiento, 570*t*
de transporte capilar, 394*f*
del equilibrio, 296
del oído, 298
renales, 537
renina-angiotensina, 535
Mecanorreceptores, 294
Mediastino, 20, 362, 445
Medición de la tensión arterial, 388, 389*f*
Médula, 121, 406, 456
suprarrenal, 331*t*
espinal, 255, 256*f*
renal, 521
Megacariocitos, 347
Meiosis, 551
Mejillas, 471
Melanina, 117, 118
Melanocitos, 117
Melanoma maligno, 126
Melanosomas, 117
Melatonina, 329
Membrana(s)
basal, 89
basilar, 298
capilar otolítica, 297
celular, 67
corporales, 110
cutánea, 110, 111*f*, 114
de recubrimiento y revestimiento, 110
del tejido conectivo, 110, 112
epiteliales, 110
interósea, 160, 164
mucosas, 90, 110, 111*f*, 409
mucosas intactas, 414*t*
nuclear, 67
periodontal (ligamento), 480
plasmática, 66, 66*f*, 67
respiratoria (barrera hemato-aérea), 447
serosas, 90, 111*f*, 112
sinovial, 112, 170
tectoria, 298
timpánica, 294
Memoria inmunitaria, 419
Menarquia, 573
Meninges, 249
del encéfalo, 249*f*
Meningitis, 251
Menopausia, 332, 557, 576

Mes lunar, 559
Mesencéfalo, 247, 248
Mesenterio, 472
Mesodermo, 566
Metabolismo, 11, 495
de las grasas, 497
de las proteínas, 498
de los hidratos de carbono, 496
mediante las células del organismo, 499*f*
y transporte del colesterol, 501
Metabolizar, 76
Metafase, 84, 85*f*
Mezcla de los fluidos corporales, 532*f*
Miastenia grave, 221, 429
Micción, 530
Microcirculación, 377
Microfilamentos, 73
Microfotografía
de las glándulas cutáneas, 120*f*
de una muestra de sangre, 342*f*
por escáner de electrones, 122*f*
Microglía, 231
Microscopia electrónica de barrido (SEM), 448*f*
Microtúbulos, 73
Microvellosidades, 68, 476
Mielina, 232
Miembros inferiores, 144*f*
Milia, 127
Minerales, 495
Mineralocorticoides, 322
Mini válvulas, 404
Miocardio, 363, 364*f*
Miofibrillas, 187
Miofilamentos, 183, 187
Miometrio, 556
Miosina, 73, 189
Miringotomía, 294
Mitocondria(s), 70, 552
Mitosis, 83, 551
Mitterlschmerz, 558
Mixedema, 320
Modelo(s)
moleculares, 39*f*
orbital, 29
planetario, 29
Modificaciones estructurales del intestino delgado, 477*f*
Mol, 44
Molares, 479*f*, 480
Mólecula(s), 4, 34
de DNA, 54*f*
polar, 37
y compuestos, 34
con base de aminoácidos, 310
covalentes, 36
de anticuerpo secretadas, 419*f*
de ATP, 71
de RNA de transferencia (trna), 86
de RNA mensajero (mrna), 86
no polares con enlace covalente, 37
Molibdeno, 30*t*
Monocitos, 345, 346*t*, 418
Monoinsaturados, 49
Monómeros, 93, 423
Monosacárido(s), 45, 483
Monte de Venus o pubis, 556
Moratones, 119
Mórula, 564*f*, 565
Motor ocular
común (oculomotor), 259*t*
externo (abducens), 259*t*
Movilización fagocítica, 412*f*
Movimiento, 10, 88, 135
aéreos no respiratorios, 452
ameboide, 345
corporales, 200*f*
de los líquidos en los lechos capilares, 394
de masa, 492
del músculo, 204
especiales, 199
musculares, tipos y nombres, 198
no respiratorios, 452
no respiratorios de aire (o gas), 452*t*
peristálticos y por segmentos del tracto digestivo, 482*f*
Mucosa, 90, 110, 472
respiratoria, 441
Muelas del juicio, 479
Multipeniforme, 205
Murmullo vesicular, 453
Músculo(s), 183
aductores, 214, 217*t*
anteriores, 208, 211
anteriores superficiales, 217*t*
cardiaco, 98, 99*f*, 186
de la cabeza y el cuello, 206
de la cintura abdominal, 208
de la masticación, 207
de las extremidades inferiores, 211
de las extremidades superiores, 210
del cuello, 207
del húmero que actúan en el antebrazo, 211
del tronco anterior, los hombros y el brazo, 208*f*
del tronco, 207
deltoides, 210*f*
detrusor, 529
esquelético, 4, 98, 99*f*, 183
estabilizadores, 202
estriados, 185
extrínsecos del ojo, 284*f*
faciales, 207
fibulares, 214, 217*t*
intercostales, 208
isquiotibiales (semitendinoso, semimembranoso, bíceps femoral), 219*t*
isquiotibiales, 214
liso o visceral, 98, 99*f*, 472
lisos, 185
oculares extrínsecos (o externos), 282
pélvicos, de la cadera y del muslo derechos, 212*f*
posteriores, 209
posteriores del cuello, tronco y brazo, 209*f*
posteriores superficiales, 219*t*
principal, 202
que causan movimientos en la articulación de la cadera, 211
que provocan movimiento en el tobillo y el pie, 214
que provocan movimiento en la articulación de la rodilla, 214
sinérgicos, 202
superficiales de la cara y el cuello, 206*f*
superficiales de la pierna derecha, 215*f*
superficiales mayores de la superficie anterior, 216*f*
superficiales mayores de la superficie posterior, 218*f*
vastos, 214
voluntarios, 185
Muslo, 164

Nacimiento, 569
Narinas, 441
Nariz, 441
Nasal, 17
Nasofaringe, 443, 472
Náuseas matutinas, 567
Necesidades de supervivencia, 11
Nefronas, 521
corticales, 523
y formación de la orina, 521
Neón (Ne), 36*f*
Neoplasma, 104
Nervio(s), 234, 258
acústico, 262

ciático, 212
coclear, 300
espinales, 229, 256, 262, 263*f*
espinales y plexos nerviosos, 262
esplácnicos, 268
esplácnicos pélvicos, 266, 530
facial, 302
intercostales, 262, 456
mixtos, 258
motores o eferentes, 258
olfatorio, 301
óptico, 286
parasimpáticos, 372
pélvicos, 267
sensitivos o aferentes, 258
vestibular, 297
Neumonía, 451
Neumotórax, 451
Neurilema, 234
Neurofibrillas, 232
Neurofisiología, 2
Neuroglía, 230
Neurona(s), 75, 98, 230, 232
bipolares, 237, 237*f*
clasificación según su función, 235*f*
de la retina, 286*f*
motoras o eferentes, 236
multipolar, 236, 237*f*
sensitiva con células de Schwann y células satélite, 231*f*
sensitivas o aferentes, 235
sensitivas y motoras, 240
unipolares, 237, 237*f*
Neurotransmisor, 189, 232
Neutralización, 424
Neutrófilo(s), 342*f*, 345, 346*t*, 410
Neutrón(es) (n^0), 29, 31*t*, 33
Nicotina, 391
Nicturia, 538
Nitrógeno, 30*t*, 33*t*
Nivel(es)
de energía, 35
de organización estructural, 3, 3*f*
celular, 3*f*, 4
orgánico, 3*f*, 4
tisular, 3*f*, 4
del organismo, 3*f*
químico, 3, 3*f*
Nodo
aurículoventricular (AV), 368, 369*f*
sinoatrial (SA) (marcapasos), 368, 369*f*
Nódulos de Ranvier, 234
Nucleasas, 490
Núcleo, 66, 66*f*, 67, 504
Nucleolo, 66*f*, 67
Nucleoplasma, 67
Núcleos, 234
basales, 242, 245
o ganglios basales, 245
Nucleótido(s), 54, 83
adenina, 54*f*
Nuez, 444
Número, 194
atómico, 32
de la masa atómica, 32
de orígenes, 204
diferente, 31
Nutrición, 493
y metabolismo, 493
Nutrientes, 11
esenciales, 493
secundarios, 493

Obesidad, 508*r*
Oblicuo, 204
externo, 209, 217*t*
inferior, 284*t*
interno, 209
superior, 284*t*
Occipital, 17, 207
Odontoides, 155
Oftalmia neonatal, 304
Oftalmoscopio, 289
Oído, 281
externo, 294
interno, 295
medio, 294
y equilibrio, 294
Ojo
emétrope, 293*f*
hipermétrope, 293*f*
miope, 293*f*
y vista, 281
Olfato, 281
OligodentrocitoS, 231*f*, 232
Oliguria, 524
Ondas peristálticas, 487*f*
Oocito, 75
Oposición, 202
Opsonización, 413
Óptico, 259*t*
Orbicular
de la boca, 207, 217*t*
de los ojos, 207, 217*t*
Organismo, 4
Organización del sistema nervioso, 229, 230*f*
Organo(s), 4, 88, 403
blanco, 311
del aparato urinario, 519*f*
del tubo digestivo, 470
digestivos secundarios, 469, 479
efector, 240
endocrinos, 313
espiral de Corti, 298
linfoides, 407, 407*f*
no reproductores, 552
reproductores accesorios, 545
reproductores femeninos, 554*f*, 555*f*
reproductores masculinos, 547*f*
sensitivos cutáneos, 235
sexuales primarios, 545
Orgánulos, 69
citoplasmáticos, 70
Orificio(s)
de la glándula vestibular mayor, 556
interno uretral, 528
nasales, 441
oval, 385
ureterales, 528
uretral y vaginal, 556
Origen, 199, 211
Orina, 524
Orofaringe, 443, 472
Orquitis, 573
Osículos, 295
Osificación, 140
Osmisis, 78*f*
Osmorreceptores, 532
Ósmosis, 77
Osteoartritis (OA), 173, 176
hipertrófica, 173
Osteoblastos, 140
Osteocitos, 137
Osteoclastos, 140
Osteoporosis, 175, 175*f*
Otitis, 304
media, 294, 300, 444
Otolitos, 297
Otosclerosis, 300, 304
Ovarios, 313, 329, 331*t*, 545, 553
Ovocito(s), 553
primarios, 557
secundario, 557
Ovogénesis, 557
y ciclo ovárico, 557
Ovogonias, 557
Ovulación, 553, 558*f*
Ovulo(s), 545, 558
Oxidasas, 52
Oxigenación
alta, 384*f*
baja, 384*f*
moderada, 384*f*
muy baja, 384*f*
Oxígeno (O), 11, 30*t*, 33*t*, 36*f*
Oxihemoglobina, 454
Oxitocina, 318, 569

Pabellón auricular, 294
Paladar
blando, 442, 471
duro, 442, 471
fisurado, 149, 506
Palas del hombro, 160
Palidez, 119
Páncreas, 313, 326, 331*t*, 480
Pancreatitis, 490
Pancreomicina, 333*t*
Pannus, 173
Papila(s), 122, 302, 472
circunvaladas, 302
dérmicas, 117

Papila(s)
duodenales, 476
fungiformes, 302
gustativas, 302
óptica, 286
Pápula, 126
Parálisis
cerebral, 272
espástica, 257
flácida, 256
Paraplejia, 258
Parathormona, 321
Pared y revestimientos cardiacos, 364*f*
Pares craneales, 229, 258, 259*t*
Párpados, 281
Partículas
alfa o beta, 33
subatómicas, 31*t*
Parto, 569
Patético (troclear), 259*t*
Patógenos, 124, 409
Pautas de las reacciones químicas, 40
Pautas de las reacciones químicas, 40*f*
Pecas, 117
Pectoral mayor, 208, 217*t*
Pedículos, 155
Pedúnculos cerebrales, 248
Pelo(s), 121
gustativos, 302
olfatorios, 301
y folículos capilares, 121
Pelvis
falsa, 164
ósea, 162, 163*f*
renal, 521
verdadera, 164
Pene, 549
Pepsina, 486
Pepsinógeno, 475, 486
Péptido
inhibidor gástrico (GIP), 490*t*
natriurético atrial (ANP), 323, 333*t*
Pérdida auditiva, 300
Perforación esternal, 157
Perforina, 410, 425
Pericardio, 112, 362, 364*f*
fibroso, 362, 364*f*
seroso, 363
visceral, 364*f*
Pericarditis, 363
Perilinfa, 296
Perimetrio, 556
Perimisio, 185
Perineo, 557
Perineuro, 258
Periostio, 135
Peristalsis,98, 472, 482, 492
Peritoneo, 112
parietal, 472
visceral, 472
Peritonitis, 472
Permeabilidad selectiva, 76
Peroné, 165
Peroxisomas, 73
Peso atómico, 33
e isótopos, 33
Pestañas, 282
Petequia, 351
Pezón, 561
PF_3, 350
Ph, 44
concentraciones ácido-base, 44
Piamadre, 251
Pie, 165
de atleta, 123
Piel, 11, 409
intacta (epidermis), 414*t*
Pielitis, 529
Pielonefritis, 527
Pierna, 164, 211
Pigmento(s)
biliar, 528*t*
visuales, 287*r*
Píloro, 472
Pineal, 313
Pinocitosis, 82
Pirámide(s)
alimenticia de USDA, 495*f*
medulares o renales, 521
Pirógenos, 506
Pirosis, 486
Pituitaria, 313
Placa(s)
cribriformes, 148
de Peyer, 408
epifisaria, 136
metafásica, 84
Placenta, 332, 566
Planos y secciones del cuerpo, 17
Plantilla, 83
Plaquetas, 340, 342*f*, 346*t*, 347
Plasma, 340
sanguíneo, 98
Plasmina seminal, 549
Platisma, 207, 217*t*
Pleura, 112
parietal, 447
pulmonar o visceral, 447
Pleuresía, 447
Pleuritis, 447
Plexo(s), 262
braquial, 265*f*
coroideos, 247
de los nervios espinales, 264*t*
lumbar, 265*f*
nervioso mientérico, 472
nervioso submucoso, 472
nerviosos intrínsecos, 472
sacro, 265*f*
Plicae circulares, 477
Pliegues
circulares, 477
ungueales, 122
Podocitos, 521
Policitemia, 344
secundaria, 344
vera, 344
Polidipsia, 326
Polifagia, 326
Poliinsaturados, 49
Polipéptidos, 49
Pólipos, 507
Polisacárido, 46, 483
Poliuria, 326, 535
Polos, 37
Poro(s), 120
alveolares, 447
de filtración molecular, 521
gustativo, 302
nucleares, 66*f*, 67
Posición
anatómica, 15
y planos anatómicos, 19*f*
Positron emission tomography (PET), 34
Potasio, 30*t*
Potencial
de acción, 190, 239
graduado, 239
Precipitación, 424
Premolares, 479, 479*f*
Prepucio, 549
Presbiacusia, 304
Presbiopía, 304
Presión
atmosférica, 12
hidrostática, 77
intraocular, 289
Presorreceptores, 389
Prime mover, 202
Primera línea de defensa, 408*t*, 409
Proceso(s)
de transporte activo, 78
de transporte pasivo, 76
electroquímico, 239
Producción
de calor, 187
de energía, 502
de hormonas por parte de los ovarios, 561
de movimiento, 187
de testosterona, 552
de tiroxina, 503*t*
Productos
a base de cereales, 494*t*
lácteos, 494*t*
Profase, 83
tardía, 85*f*
temprana, 85*f*
Progesterona, 329, 561
Prolactina (PRL), 315
Pronación, 202
Propagación del potencial de acción, 238*f*
Propioceptores, 235
Propulsión
de los alimentos, 487, 492

del residuo y defecación, 492
Prostaglandinas (PG), 47*t*, 311, 323, 333*t*, 569
Próstata, 528, 548
Prostatitis, 549, 573
Proteínas, 42, 49, 67, 494, 499*f*, 528*t*
antimicrobianas, 413
coagulantes, 501
completas, 495
de transporte, 51*t*
del complemento, 413
estructurales, 50
fibrosas (estructurales), 86
fibrosas y globulares, 50
funcionales, 50
globulares, 50
globulares (funcionales), 86
plasmáticas, 342
Protón (p^+), 29, 31*t*
Protuberancia, 247, 248, 456
Proyecciones, 136
Prueba de compatibilidad cruzada, 354
Pseudohermafroditas, 573
Psoriasis, 123, 124*f*
Ptosis, 519
Pubertad, 573
Pubis, 162, 164, 556
Pulmones, 445
Pulpa, 480
Pulso, 387
arterial, 387
Punción lumbar, 251
Punto(s)
blanco, 119
de presión, 387
del cuerpo para tomar el pulso, 387*f*
negro, 119
Pupila, 284
Pus (glóbulos blancos y bacterias), 413, 528*t*

Quemadura(s), 123, 124, 125*f*
de grosor completo, 124
de grosor parcial, 124
de primer grado, 124
de segundo grado, 124
de tercer grado, 124
Queratina, 50, 115
Queratinocitos, 116
Quiasma óptico, 291
Quilífero, 477
Química, 239
de las hormonas, 310
Quimiorreceptores, 301
Quimiotaxis, 411
positiva, 345
Quimo, 475
Quimotripsina, 490

Radiación, 504
óptica, 291
Radicales libres, 73
Radio, 160
Radioactividad, 33
Radioisótopos, 33
Raíz, 121, 122, 480
dorsal, 256
ventral, 256
Rama(s), 149
arteriales comunicantes, 383
arteriales de la aorta abdominal, 378
arteriales de la aorta ascendente, 378
arteriales de la aorta torácica, 378
arteriales del arco aórtico, 378
colaterales, 232
del fascículo, 369*f*
mandibular, 138*t*
Ramo
comunicante, 268
dorsal, 262
ventral, 262
Ranura, 138*t*
aurículoventricular, 367
radial, 160
Raquitismo, 142
Rayos gamma, 33
Reabsorción tubular, 523, 523*f*, 524
Reacción(es)
a la penicilina, 416
acrosómica, 563
cruzada de anticuerpos, 429
de descomposición, 40
de intercambio, 40
de neutralización, 44
de síntesis, 40
químicas, 35
Reactante, 34, 42
Reactividad, 11
química, 42
Receptividad, 189
Receptor(es), 12, 235
amargos, 302
cítricos, 302
de los sentidos especiales, 281
de protones, 43
dulces, 302
olfatorios, 301, 441
salados, 302
sensor, 13*f*
sensoriales cutáneos, 115
Recién nacido con hidrocefalia, 251*f*
Recto, 477
abdominal, 209, 217*t*
femoral, 214
inferior, 284*t*
lateral, 284*t*
medial, 284*t*
superior, 284*t*
Reducción, 143, 10
abiertas, 143
cerrada, 143
Reflejo(s), 240
autonómos, 240
de la deposición, 492
de la tos, 444
de los puntos cardinales, 507
de succión, 507
enterogástrico, 487
flexor o de retirada, 240
oculares, 291
pupilar de adaptación, 293
rotuliano o de sacudida de la rodilla, 240
somáticos, 240
Refractan, 290
Regeneración, 100
Región(es), 21
cardiaca, 472
epigástrica, 22
hipocondríacas derecha e izquierda, 22
hipogástrica (púbica), 22
ilíacas, o inguinales, 22
lumbares derecha e izquierda, 22
umbilical, 22
Regla(s)
de la actividad de los músculos esqueléticos, 198*t*
de los nueves, 124
de los ochos, 35
del ABCD, 126
Regulación
de la contracción, 184*t*
de la secreción de jugo pancreático, 491*f*
de la temperatura corporal, 504
de los niveles de glucosa en sangre, 328*f*
del aporte alimentario, 502
del consumo y la pérdida de agua, 532
del volumen sistólico, 372
neural, 534*f*
neurológica, 456
Relación
de la disposición fascicular con la estructura muscular, 205*f*
de las células de Schwann con los axones periféricos, 234*f*
de los vasos linfáticos con los sanguíneos, 404*f*
entre anatomía y fisiología, 2
entre el agua y la sal, 531
entre la pituitaria y el hipotálamo, 316

Relación *(cont.)*
estructural entre la tráquea y el esófago, 443*f*
Relajación, 369
Relaxina, 332, 566
Remodelación ósea, 140, 143*f*
Renina, 323, 486, 518, 535
Reparación de tejidos (curación de heridas), 100
Replicación de la molécula de DNA durante la interfase, 84*f*
Repolarización, 238*f*, 239
Reproducción, 11, 76
Resistencia, 197
a la insulina, 327
periférica, 388
Resistina, 333*t*
Respiración, 448
aeróbica, 195
celular, 449, 496
externa en los pulmones, 455*f*
externa, 448, 453, 454
interna en los tejidos, 449, 454, 455*f*, 456
Respuesta(s)
graduadas, 194
hormonales primaria y secundaria a un antígeno, 420*f*
humorales secundarias, 419
inflamatoria, 410, 414*t*
inmunitaria, 415
inmunitaria adaptativa celular, 428*f*
inmunitaria adaptativa humoral, 428*f*
inmunitaria celular, 425
inmunitaria humoral, 418
muscular a estímulos más fuertes, 195
rápidas, involuntarias y predecibles, 240
subsiguientes (secundarias), 430*f*
todo o nada, 239
Rete testis, 546
Retículo
endoplasmático liso, 72
endoplasmático rugoso, 71
sarcoplásmico (SR), 189
Reticulocito, 347
Retina, 284, 289*f*
Retorno venoso, 372, 376
Retroalimentación, 13
Revestimientos y pared, 362
Ribosa, 55
Ribosomas, 67, 71
Rinitis, 443
Riñón, 518, 523*f*
poliquístico, 538
Risa, 452*t*
RNA, 86
mensajero, el ribosómico y el RNA de transferencia, 55
ribosomal o ribosómico (rrna), 71, 86
Rotación, 199
Rubefacción, 410
Rubeola, 304
Rugosidades, 473
Ruidos cardiacos, 371
Ruta
de la luz a través del ojo y la refracción de la luz, 290
de las ondas sonoras a través del oído, 299*f*

Sacarosa, 45, 483
Saco
alveolar, 447
lagrimal, 282
Sacro, 150, 155, 264*t*
Sal(es), 36, 42
biliares, 47*t*
Saliva, 480
Sangrado postparto, 571
Sangre, 94, 97*f*, 98, 340
sustitutos artificiales, 355*r*
Sarco, 183
Sarcolema, 187
Sarcómeros, 187
Sarcoplasma, 183
Sartorio, 214, 217*t*
Sebo, 119
Seborrea, 119
Sección, 17
coronal, 17
frontal, 17, 364*f*
longitudinal de un molar, 480*f*
mediana, 17
sagital, 17
transversal, 17
Secreción, 89, 93
tubular, 523, 523*f*, 524
Secretina, 490*t*, 491
Secundinas, 571
Segmentación, 482, 564*f*, 565
temprana (fase de cuatro células), 564*f*
Segmento
anterior (acuoso), 289
posterior (vítreo), 289
Segunda línea de defensa, 408*t*, 409
Selección clonal, 418
de una célula B, 419*f*
Selenio, 30*t*
Semen, 548, 549
Señales cardinales, 410
Senilidad, 273
Seno(s), 138*t*
coronario, 368
esfenoidales, 147
paranasales, 147*f*, 149, 442
venosos, 251
venoso de la esclera, 289
Sentidos
especiales, 281
químicos: gusto y olfato, 301
Septo, 546
Séptum
interatrial, 365
interventricular, 364*f*, 365, 369*f*
Seudópodos, 82
Sexo, 503*t*
Shock, 351
anafiláctico, 430
Sibilancias, 453
Sida, 432*r*
Silicio, 30*t*
Silla turca, 145
Sinapsis, 232
Sinartrosis, 166
Sindesmosis, 168
Síndrome
de inmunodeficiencia adquirida (sida), 431
de Ménière, 300
de muerte súbita del lactante (SIDS), 464
Sínfisis pubiana, 164, 168
Síntesis
por deshidratación, 45
y exportación de una proteína, 71*f*
de la vitamina D, 114*t*
de deshidratación e hidrólisis, 46*f*
de la proteína, 86, 87*f*
Sinusitis, 149, 443
Sistema(s)
cardiovascular, 5*f*, 7, 129*f*, 361, 568
cardiovascular y respiratorio, 441
de amortiguadores de bicarbonatos, 536
de amortiguadores proteínicos, 536
de conducción intrínseco del corazón, 368, 369*f*
de conductos, 546, 554
de defensa adaptativo o específico, 409
de defensa específico, 415
de defensa innato y adaptativo, 408
de defensa no específico, 408
de Havers, 139
de segundo mensajero, 311
digestivo *6f*, 7, 129*f*, 470*f*
endocrino, 5*f*, 7, 129*f*, 310
esquelético, 5*f*, 129*f*
gastrointestinal, 567
inmunitario, 408, 408*t*, 417
integumentario (piel), 114, 129*f*

interrelacionados, 129*f*
límbico, 246
linfático, 6*f*, 7, 129*f*, 403
muscular, 4, 5*f*, 129*f*, 186
nervioso, 4, 5*f*, 129*f*, 228
nervioso autónomo (ANS), 230, 262, 266*t*
nervioso central (CNS), 229, 230*f*, 242
nervioso involuntario, 230, 262
nervioso periférico (PNS), 229, 230*f*, 258
nervioso somático, 230, 266*t*
nervioso voluntario, 230
nodal, 368
orgánico, 4, 4*f*
óseo, 4
renina-angiotensina, 534*f*
reproductor, 129*f*, 545
reproductor femenino, 6*f*
reproductor masculino, 6*f*
respiratorio, 6*f*, 7, 129*f*, 568
reticular activador (RAS), 248
tegumentario, 4, 5*f*
urinario, 6*f*, 7, 129*f*, 567
vascular, 374
Sístole, 369
ventricular, 371
Sodio (Na), 30*t*, 33*t*, 36*f*
metal plateado, 34*f*
Sóleo, 214, 219*t*
Solución(es), 42, 76
tampón, 44
Solutos, 42, 76
Soma, 232
Sonidos
bronquiales, 453
respiratorios, 453
Soplos, 371
Soporte, 88, 134
Sordera, 300
de conducción, 300
neurosensitiva, 300
Staphylococcus aureus, 123
Submucosa, 472
Sudor, 120
Suero, 350
Sulcus, 242
Suministro arterial del cerebro, 383*f*
de sangre, 521
y el polígono de Willis, 383
Superficie
apical, 89
libre, 90
rotuliana, 164
y cavidad abdominopélvica, 21*f*
Supinación, 202
y pronación, 202
Surco, 242
coronario, 367
de segmentación, 84
intertubercular, 160
Surfactante, 447, 461
Suspensión, 42
Sustancia(s)
blanca, 234, 235, 242
blanca cerebral, 245
blanca de la médula espinal, 256
blanca hemisférica, 245
de base, 93
gris, 234, 235, 243
gris de la médula espinal y raíces medulares, 256
químicas, 391
Sutura(s), 145
coronal, 145
lambdoidea, 145
sagital, 145
escamosas, 145

Tabique nasal, 441
Tálamo, 246
Talo, 166
Tambor del oído, 294
Taquicardia, 369
Tarso, 165
Tatuajes, 113*r*
Taxare, 302
Técnico
en alimentación, 53*r*
en flebotomía, 352*r*
quirúrgicos certificados, 382*r*
Tejido(s), 4, 88
adiposo, 97
areolar, 97
cicatricial, 100
conectivo, 93, 94*f*, 96*f*
conectivo denso o fibroso, 94, 97
conectivo laxo, 94, 97
conectivo reticular, 98
de granulación, 100
epitelial, 88
eréctil, 549
linfático asociado a las mucosas (MALT), 408
linfoides, 403
mieloide, 347
muscular, 98
nervioso, 98, 100*f*, 230
óseo, 94
pancreático, 327*f*
subcutáneo, 115
vascular, 98
Telofase, 84
y citocinesis, 85*f*
Temperatura, 41*t*, 391
corporal, 12
Tendón(es), 97, 185
calcáneo, 214
de Aquiles, 214
Teniae coli, 478
Tensión, 197
arterial, 387, 391, 388*f*
diastólica, 388
sistólica, 388
Terapia
inmunosupresora, 429
intravenosa y tónicos celulares, 80*r*
Tercer ventrículo, 246
Tercera línea de defensa, 408*t*, 412, 415
Terminaciones nerviosas libres, 117
Terminales axónicas, 189, 232
Terminología, 234
Términos
de dirección, 15
de orientación y dirección, 18*t*
de regiones, 16*f*
Test de Mantoux y de la tiña, 431
Testículos, 313, 331*t*, 545, 546
y epidídimo, 546*f*
Testosterona, 546, 552
Tétanos, 321
completo, 194
Tetraplejia, 258
Tibia, 164
Tienda del cerebelo, 251
Timina, 55
Timo, 313
Timosina, 329, 408, 416
Tímpano, 294
Tiña del pie, 123
Tipo(s)
de anemia, 344*t*
de articulaciones, 169*f*
de articulaciones sinoviales, 170, 172*f*
de contracciones musculares, 197
de enlaces químicos, 35
de epitelios y sus localizaciones, 91*f*, 92*f*
de fracturas, 142*t*
de inmunidad adquirida, 420*f*
de movimientos corporales, 198
de músculos, 183
de receptores sensitivos, 236*f*
de sangre, 354
de tejido conectivo, 94
de tejido muscular, 98
de tejido y sus localizaciones, 99*f*
Tiroides, 313, 444
Tiroxina, 319, 373, 503
Tono muscular, 197
Tonómetro, 289
Tonsila(s)
lingual, 472
palatinas, 472
Tórax óseo, 145, 157, 158*f*

Torcedura, 173
Tortícolis, 207
Tos, 452*t*
Trabéculas, 406
Tracto gastrointestinal (GI), 470
Traducción, 86
Tragar, 485
Transcripción, 86
Transcriptor médico, 128*r*
Transmisión de la señal en las sinapsis, 239
Transporte
  activo, 76, 78, 492
  de gases en la sangre, 449, 454
  de membrana, 76
  de oxígeno alterado, 455
  pasivo, 76
  vesicular, 79
Trapecio, 209, 219*t*
Tráquea, 444
Traqueotomía, 444
Trasplantes de órganos y rechazo, 427
Trastornos
  de la hemostasis, 350
  de la hormona del crecimiento pituitaria, 316*f*
  hemorrágicos, 350
Traumatismos craneoencefálicos, 252
Trazado de los volúmenes pulmonares, 453*f*
Tríceps, 204, 211, 219*t*
Trigémino, 259*t*
Triglicéridos, 46
Trígono, 528
Triplete, 86
Tripsina, 490
Tritio (^{3}H), 32*f*
Triyodotironina, 319
Trocánter(es), 138*t*
  mayor y menor, 164
Tróclea, 160
Trofoblasto, 565
Trombina, 350
Trombo, 350
Trombocitopenia, 350, 351
Tromboflebitis, 377
Tromboplastina, 350
Trombopoyetina, 349
Trombosis coronaria, 350
Trompa(s)
  de Eustaquio, 294, 444
  de Falopio o uterinas, 554
Tronco, 268
  braquiocefálico, 378
  celiaco, 378
  encefálico, 247
  pulmonar, 365
Tubérculo(s), 138*t*
  cuadrigéminos, 248
  mayor y menor, 160
Tuberosidad, 138*t*
  deltoidea, 160
  glútea, 164
  isquial, 162
  radial, 160
  tibial, 165
Tubo(s)
  descendente, 444
  digestivo, 470
  faringotimpánico, 294
  neural, 242
  uterinos, 554
Túbulo(s)
  contorneado distal, 521
  contorneado proximal, 521
  renal, 521
  seminíferos, 546
Tuétano rojo, 136
Túnicas, 374
  albugínea, 546
  conjuntiva, 282
  externa, 375*f*
  íntima, 374, 375*f*
  media, 375*f*

Ubicación
  de los órganos endocrinos, 314*f*
  del corazón en el tórax, 362*f*
  en el cuerpo, 184*t*
  enlace de antígenos, 422
  y estructura de las papilas gustativas, 303*f*
  y formación celular del epitelio olfatorio, 301*f*
  y tamaño, 362
Ulceras, 485, 507
  pépticas, 488*r*
  por presión, 118
Ulna, 161
Umami, 302
Umbilical, 17
Uña, 122
Uniaxiales, 171
Unidades motoras, 189, 190*f*
Unión(es)
  celulares, 69*f*
  de membrana, 68
  fuertes, 68
  gap, 69
  neuromuscular, 189, 191*f*
  peritoneales de los órganos abdominales, 475*f*
Unipeniforme, 205
Uracilo, 55
Urea, 500, 524
Ureocromo, 524
Uréteres, 528
  vejiga urinaria y uretra, 528
Uretra, 529, 546, 548
  esponjosa (peneana), 530, 548
  membranosa, 530, 548
  prostática, 530, 548
Uretritis, 529, 573
Utero, 554, 555
Uterosacro, 555
Uvula, 471

Vacunas, 420
  de refuerzo, 420
Vagina, 554, 556
Vaina(s)
  de mielina, 232
  de tendón, 170
  dérmica, 122
  epidérmica, 122
Válvula(s), 366, 376
  auriculoventriculares, 366
  auriculoventricular derecha (válvula tricúspide), 364*f*
  auriculoventricular izquierda (válvula bicúspide), 364*f*
  ileocecal, 476
  incompetente, 366
  pulmonares, 366
  semilunares, 366
  semilunar aórtica, 364*f*
  semilunar pulmonar, 364*f*
  tricúspide, 366
Vanadio, 30*t*
Vasectomía, 548
Vaso deferente, 546
Vasoconstricción, 389, 391, 504
Vasodilatadores, 413
Vasopresinas, 319
Vasos
  de intercambio, 377
  linfáticos, 403, 404
  linfáticos aferentes, 406
  linfáticos colectores, 404
  linfáticos eferentes, 406
  sanguíneos, 374
Vegetales, 494*t*
Vejiga urinaria, 528
Vello, 127
Vellosidades, 476, 477*f*
  aracnoideas, 251
  coriónicas, 566
Velocidad de contracción, 184*t*
Vena(s)
  ácigos, 380
  arciformes, 521
  axilar, 380
  basílica, 380
  braquial, 380
  braquiocefálicas, 380
  cardiacas, 367
  cava inferior, 364*f*, 365, 380

cava superior, 369*f*, 365, 380
cefálica, 380
circulación sistémica, 379*f*
cubital mediana, 380
de la circulación portal hepática, 385
de la circulación sistémica, 380
de lumen, 375*f*
esplénica, 386
femoral, 380
gástrica I., 386
gonadal D., 380
gonadal I., 380
hepáticas, 383
ilíaca común, 380
ilíaca externa, 380
ilíaca interna, 380
interlobulares, 521
mesentérica inferior, 386
mesentérica superior, 386
peronea, 380
poplítea, 380
portal hepática, 380, 385
pulmonares, 365
pulmonares derechas, 364*f*
pulmonares izquierdas, 364*f*
que se drenan en la vena cava inferior, 380
que se drenan en la vena cava superior, 380
radial y ulnar, 380
radiales corticales, 521
renales, 380, 521
subclavia, 380
tibiales anterior y posterior, 380
umbilical, 383
varicosas, 377
vertebral, 380
yugular externa, 380
yugular interna, 380
Ventana
oval, 294
redonda, 294
Ventilación pulmonar, 448
Ventrículo(s), 242, 365
derecho, 363*f*, 364*f*
interventricular, 364*f*
izquierdo, 363*f*
y líquido cefalorraquídeo, 250*f*
Vénula(s), 374
postcapilar, 377, 377*f*
Vérnix caseosa, 127
Verruga, 125
Vértebras, 150
cervicales, 150, 155
lumbares, 150, 155
torácicas, 150, 155, 156*f*
Vértigos, 300
Vesícula(s)
biliar, 481
de secreción o secretoras, 72
de transporte, 71
seminales, 548
Vestibulococlear (auditivo o estatoacústico), 260*t*
Vestíbulo, 295, 471, 556
Vía(s)
aferente, 12
eferente, 12
simples, 268*f*
Vientre, 207
Visión binocular, 291
Vista, 281
cansada, 293
Vitamina(s), 495
activa D_3, 333*t*
D, 47*t*
liposolubles A, 47*t*
Volumen(es)
de reserva espiratorio (ERV), 452
de reserva inspiratorio (IRV), 452
intrapulmonar, 451
residual, 452
sistólico (SV), 372
corriente (TV), 452
y capacidades respiratorios, 452
Voluntad (control consciente), 456
Vómer, 149
Vómitos, 487
Vulva, 556
Women's Health Initiative (WHI), 578

Xenoinjertos, 427

Yeyuno, 476
Yodo, 30*t*, 33*t*
Yunque, 295

Zigoto (ovulo fertilizado), 564*f*, 565
Zona(s)
constante (C), 422
de conducción hacia el acino respiratorio, 447
de filtración, reabsorción y secreción de una nefrona, 525*f*
de origen de inmunocompetencia, 417*f*
de origen de los linfocitos, 417*f*
de reto de antígenos y diferenciación final de células B y T, 417*f*
vacía, 189
variable (V), 422
Zónula ciliar, 283