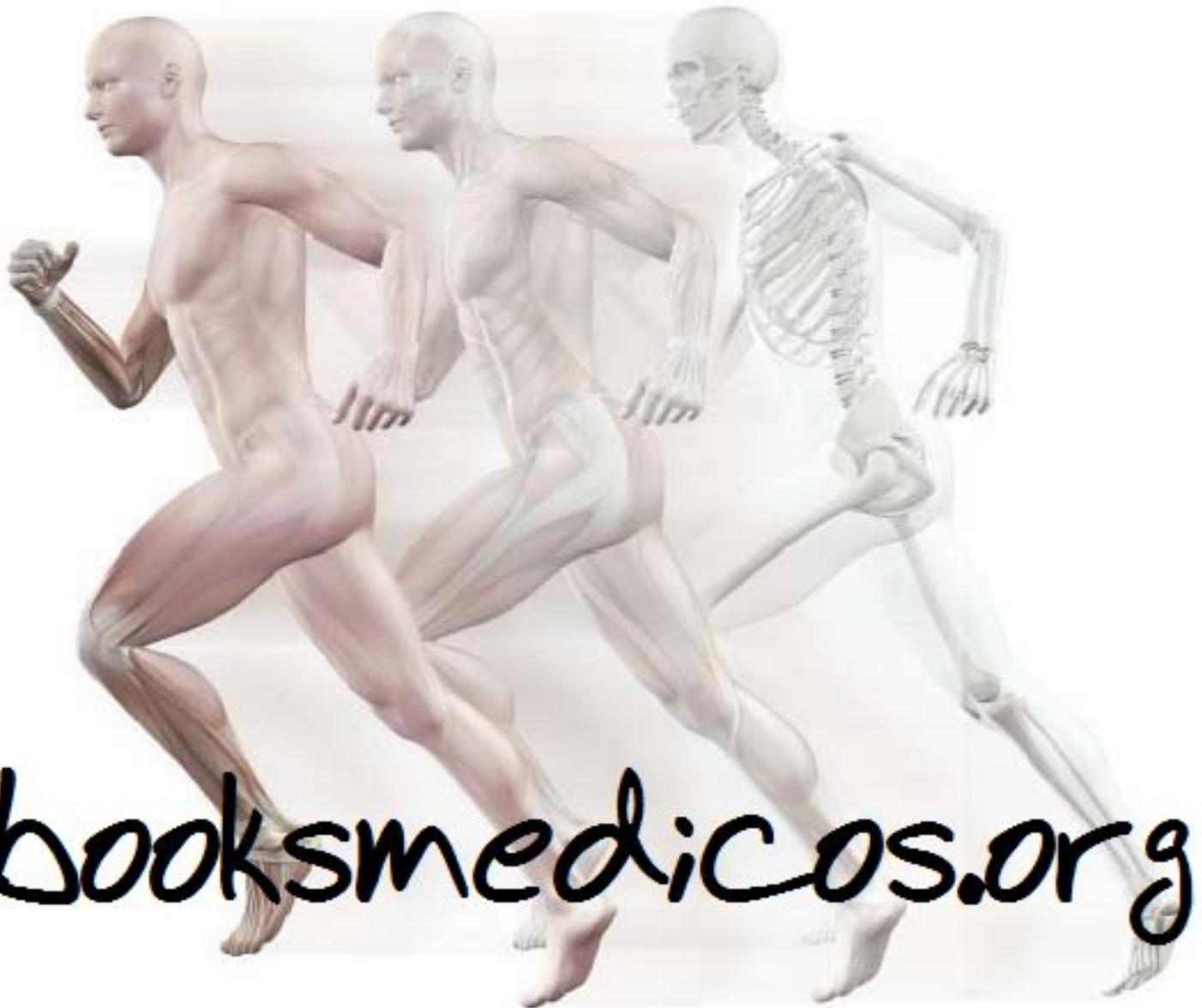
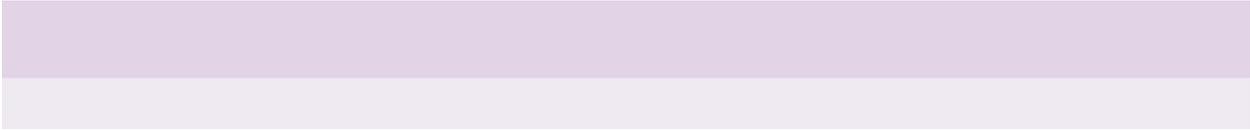


Anatomía y fisiología para enfermeras

Ian Peate
Muralitharan Nair



booksmedicos.org



Anatomía y fisiología para enfermeras

PRIMERA EDICIÓN EN ESPAÑOL DE
LA SEGUNDA EDICIÓN EN INGLÉS



Anatomía y fisiología para enfermeras

Editado por

Ian Peate EN(G), RGN, DipN (Lond) RNT, BEd (Hons), MA (Lond) LLM
Muralitharan Nair SRN, RMN, DipN (Lond) RNT, Cert Ed, BSc (Hons) MSc
(Surrey),
Cert in Counselling, FHEA

Traductor:

Biol. Juan Roberto Palacios Martínez
Universidad Autónoma de Baja California.

Revisión técnica:

Dr. Francisco Raúl Barroso Villafuerte
*Coordinador de Ciclos Básicos de la Licenciatura en Médico Cirujano,
Facultad de Ciencias de la Salud Universidad Anáhuac México Campus Norte.*

Editor responsable:

Dr. Orlando Guerra Malacara
Editorial El Manual Moderno



Editorial El Manual Moderno S.A. de C.V.
Av. Sonora 206 Col. Hipódromo, C.P. 06100 Ciudad de México

Editorial El Manual Moderno Colombia S.A.S.
Carrera 12-A No. 79-03/05 Bogotá, DC

IMPORTANTE

Los autores y la Editorial de esta obra han tenido el cuidado de comprobar que las dosis y esquemas terapéuticos sean correctos y compatibles con los estándares de aceptación general en la fecha de la publicación. Sin embargo, es difícil estar por completo seguro que toda la información proporcionada es totalmente adecuada en todas las circunstancias. Se aconseja al lector consultar cuidadosamente el material de instrucciones e información incluido en el inserto del empaque de cada agente o farmacoterapéutico antes de administrarlo. Es importante, en especial, cuando se utilizan medicamentos nuevos o de uso poco frecuente. La Editorial no se responsabiliza por cualquier alteración, pérdida o daño que pudiera ocurrir como consecuencia, directa o indirecta, por el uso y aplicación de cualquier parte del contenido de la presente obra.

Nos interesa su opinión, comuníquese con nosotros:

Editorial El Manual Moderno S.A. de C.V.

Av. Sonora 206, Col. Hipódromo, Alcaldía Cuauhtémoc, 06100, Ciudad de México,
México

(52-55) 52-65-11-00

info@manualmoderno.com

quejas@manualmoderno.com



www.manualmoderno.com

Título original de la obra:

Fundamentals of Anatomy and Physiology For Nursing and Healthcare Students, second edition.

Copyright © 2017 by John Wiley & Sons, Ltd.

“All Rights reserved. Authorised translation from the English language edition published by John Wiley & Sons Limited. Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with Editorial El Manual Moderno, S.A. de C.V. and is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.”

“Todos los derechos reservados. Esta es una traducción autorizada de la edición en inglés publicada por John Wiley & Sons Limited. La responsabilidad de esta la traducción es responsabilidad de Editorial El Manual Moderno, S. A. de C.V. y no de John Wiley & Sons Limited. Ninguna parte de este libro puede reproducirse de ninguna forma sin el permiso por escrito del titular original de los derechos de autor, John Wiley & Sons Limited.”

ISBN: 978-1-119-05552-5

Anatomía y fisiología para enfermeras
D.R. © 2019 por Editorial El Manual Moderno S.A de C.V.
ISBN: 978-607-448-784-8 versión electrónica

Miembro de la Cámara Nacional de la Industria Editorial Mexicana, Reg. núm.
39

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser
reproducida, almacenada o transmitida sin permiso previo por escrito de la
Editorial.

Para mayor información sobre

Catálogo de producto
Novedades
Instrumentos de evaluación en línea y más
www.manualmoderno.com



es marca registrada de
Editorial El Manual Moderno, S.A. de C.V.

Director editorial:
Dr. José Luis Morales Saavedra

Editora de desarrollo:
Mtra. Vanessa Berenice Torres Rodríguez

Diseño de portada:
DG. Eunice Tena Jiménez



Contenido

[Colaboradores](#)

[Agradecimientos](#)

[Prefacio](#)

[Prefijos y sufijos](#)

[Cómo usar este libro de texto](#)

[Capítulo 1. Principios científicos básicos de fisiología](#)

[Introducción](#)

[Niveles de organización](#)

[Características de la vida](#)

[Requerimientos corporales](#)

[Átomos](#)

[Número atómico](#)

[Átomo de carbono](#)

[Moléculas](#)

[Enlaces químicos](#)

[Enlaces iónicos](#)

[Iones](#)

[Enlaces covalentes](#)

[Enlaces polares](#)

[Electrólitos](#)

[Elementos](#)

[Propiedades de los elementos](#)

[Compuestos](#)

[Ecuaciones y reacciones químicas](#)

[Ácidos y bases \(pH\)](#)

[Sangre y valores de pH](#)

[Homeostasis](#)

[Sustancias orgánicas e inorgánicas](#)

[Ejemplos de sustancias orgánicas](#)

[Carbohidratos](#)

[Grasas \(lípidos\)](#)

[Proteínas](#)

[Ejemplos de sustancias inorgánicas](#)

[Agua \(H₂O\)](#)

[Oxígeno \(O₂\)](#)

[Unidades de medición](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)
[Llene los espacios 1](#)
[Búsqueda de palabras 1](#)
[Ponga a prueba su aprendizaje](#)
[Para profundizar](#)
[Llene los espacios 2](#)
[Búsqueda de palabras 2](#)
[Rotule el diagrama 2](#)

Capítulo 2. Células, compartimientos celulares, sistemas de transporte y movimiento de líquidos entre compartimientos

[Introducción](#)
[Membrana celular](#)
[Funciones de la membrana celular](#)
[Compartimientos hídricos celulares](#)
[Líquido intracelular](#)
[Líquido extracelular](#)
[Movimiento de líquidos entre compartimientos](#)
[Composición del líquido corporal](#)
[Efectos de la deficiencia de agua](#)
[Variación en el contenido de líquido corporal](#)
[Sistemas de transporte](#)
[Difusión simple](#)
[Difusión facilitada](#)
[Ósmosis](#)
[Filtración](#)
[Sistema de transporte activo](#)
[Transporte activo](#)
[Endocitosis](#)
[Exocitosis](#)
[Electrólitos](#)
[Funciones de los electrolitos](#)
[Hormonas que regulan agua y electrolitos](#)
[Vasopresina](#)
[Aldosterona](#)
[Péptido natriurético auricular \(PNA\)](#)
[Paratirina](#)
[Conclusión](#)
[Glosario](#)
[Bibliografía](#)
[Lecturas adicionales](#)
[Actividades](#)
[Preguntas de opción múltiple](#)
[Falso o verdadero](#)
[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)
[Encierre en un círculo el término](#)
[Búsqueda de palabras](#)
[Para profundizar](#)
[Símbolos químicos](#)
[Llene los espacios 1](#)
[Llene los espacios 2](#)
[Afecciones](#)

Capítulo 3. Genética

[Mapa anatómico](#)
[Introducción](#)
[La doble hélice](#)
[Nucleótidos](#)
[Bases](#)
[Cromosomas](#)
[De DNA a proteínas](#)
[Síntesis de proteína](#)
[Transcripción](#)
[Traducción](#)
[Pasos clave en la síntesis de proteínas](#)
[Resumen de la síntesis de proteínas](#)
[Transferencia de genes](#)
[Mitosis](#)
[Interfase](#)
[Profase](#)
[Metafase](#)
[Anafase](#)
[Telofase](#)
[División celular](#)
[Meiosis](#)
[Primera división meiótica](#)
[Profase I](#)
[Metafase I](#)
[Anafase I](#)
[Telofase I](#)
[Segunda división meiótica](#)
[Genética mendeliana](#)
[Genes dominantes y recesivos](#)
[Herencia autosómica dominante y enfermedad](#)
[Herencia autosómica recesiva y enfermedad](#)
[Morbilidad y mortalidad de los trastornos dominantes y los recesivos](#)
[Trastornos recesivos ligados al cromosoma X \(ligados al sexo\)](#)
[Mutación espontánea](#)
[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Ponga a prueba su aprendizaje](#)

[Llene los espacios](#)

[Búsqueda de palabras](#)

[Afecciones](#)

Capítulo 4. Tejidos

[Introducción](#)

[Tejido epitelial](#)

[Epitelio simple](#)

[Epitelio estratificado](#)

[Epitelios glandulares](#)

[Tejido conjuntivo](#)

[Tejido conjuntivo propio](#)

[Tejido conjuntivo laxo](#)

[Tejido conjuntivo denso](#)

[Cartílago](#)

[Hueso](#)

[Tejido conjuntivo líquido](#)

[Membranas](#)

[Membranas cutáneas](#)

[Membranas mucosas](#)

[Membranas serosas](#)

[Membranas sinoviales](#)

[Tejido muscular](#)

[Tejido nervioso](#)

[Reparación tisular](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Crucigrama](#)

[Búsqueda de palabras](#)

[Llene los espacios](#)

[Para profundizar](#)

Capítulo 5. Sistema esquelético

[Mapa del cuerpo](#)

[Introducción](#)

[Esqueletos axial y apendicular](#)

[Esqueleto axial](#)

[Esqueleto apendicular](#)

[El hueso y sus funciones](#)

[Soporte](#)

[Movimiento](#)

[Almacenamiento](#)

[Protección](#)

[Producción](#)

[Formación y crecimiento del hueso \(osteogénesis y osificación\)](#)

[Formación embrionaria](#)

[Osificación intramembranosa](#)

[Osificación endocondral](#)

[Longitud y espesor del hueso](#)

[Remodelación del hueso](#)

[Fracturas óseas](#)

[Estructura y riego sanguíneo del hueso \(histología\)](#)

[Riego sanguíneo](#)

[Organización del hueso con base en la forma](#)

[Huesos largos](#)

[Huesos cortos](#)

[Huesos planos](#)

[Huesos irregulares](#)

[Huesos sesamoideos](#)

[Articulaciones](#)

[Articulaciones fibrosas](#)

[Articulaciones cartilagosas](#)

[Articulaciones sinoviales](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Búsqueda de palabras](#)

[Llene los espacios](#)

[Relacione el hueso con su forma](#)

[Para profundizar](#)
[Afecciones](#)

Capítulo 6. Sistema muscular

[Mapa del cuerpo humano](#)

[Introducción](#)

[Tipos de tejido muscular](#)

[Músculo liso o visceral](#)

[Músculo cardiaco](#)

[Músculo esquelético](#)

[Funciones de la musculatura](#)

[Mantenimiento de la postura corporal](#)

[Producción de movimiento](#)

[Estabilización de articulaciones](#)

[Protección y control de estructuras y órganos internos](#)

[Generación de calor](#)

[Composición del tejido muscular esquelético](#)

[Anatomía macroscópica de los músculos esqueléticos](#)

[Microanatomía de una fibra de músculo esquelético](#)

[Sarcolema y túbulos transversos](#)

[Sarcoplasma](#)

[Miofibrillas](#)

[Sarcómeras](#)

[Tipos de fibras musculares](#)

[Suministro sanguíneo](#)

[Contracción y relajación del músculo esquelético](#)

[Fuentes de energía para la contracción muscular](#)

[Respiración aeróbica](#)

[Déficit de oxígeno](#)

[Fatiga muscular](#)

[Organización de la musculatura](#)

[Movimiento del músculo esquelético](#)

[Efectos del envejecimiento](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Crucigrama](#)

[Para profundizar](#)

[Afecciones](#)

Capítulo 7. Sistema circulatorio

Mapa del cuerpo

Introducción

Componentes de la sangre

Propiedades de la sangre

Plasma

Agua en el plasma

Funciones de la sangre

Formación de glóbulos sanguíneos

Eritrocitos

Hemoglobina

Formación de eritrocitos

Ciclo de vida del eritrocito

Transporte de gases respiratorios

Leucocitos

Neutrófilos

Eosinófilos

Basófilos

Monocitos

Linfocitos

Plaquetas

Hemostasia

Vasoconstricción

Agregación de plaquetas

Coagulación

Tipos sanguíneos

Vasos sanguíneos

Estructura y función de arterias y venas

Capilares

Presión arterial

Factores fisiológicos que regulan la presión arterial

Control de la presión arterial

Sistema linfático

Linfa

Capilares linfáticos y vasos linfáticos grandes

Ganglios linfáticos

Órganos linfáticos

Bazo

Timo

Funciones del sistema linfático

Conclusión

Glosario

Bibliografía

Lecturas adicionales

Actividades

Preguntas de opción múltiple

Falso o verdadero

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama 2

Tipos sanguíneos

Búsqueda de palabras

Llene los espacios

Sangre

Vasos sanguíneos

Sistema linfático

Para profundizar

Afecciones

Capítulo 8. Corazón

Mapa del cuerpo

Introducción

Tamaño y sitio del corazón

Estructuras del corazón

Pared cardiaca

Pericardio

Miocardio

Potencial de acción cardiaco

Endocardio

Cámaras cardiacas

Aurículas

Ventrículos

Suministro sanguíneo del corazón

Flujo sanguíneo por el corazón

Vías eléctricas del corazón

Ciclo cardiaco

Factores que afectan el gasto cardiaco

Regulación del volumen sistólico

Precarga

Fuerza de contracción

Poscarga

Regulación de la frecuencia cardiaca

Actividad del sistema nervioso autónomo

Barorreceptores y centro cardiovascular

Actividad hormonal

Conclusión

Glosario

Bibliografía

Lecturas adicionales

Actividades

[Preguntas de opción múltiple](#)
[Falso o verdadero](#)
[Rotule el diagrama 1](#)
[Rotule el diagrama 2](#)
[Búsqueda de palabras](#)
[Llene los espacios](#)
[Para profundizar](#)
[Afecciones](#)

Capítulo 9. Aparato digestivo

[Mapa del cuerpo](#)
[Introducción](#)
[Actividad del aparato digestivo](#)
[Organización del aparato digestivo](#)
[Órganos del aparato digestivo](#)
[Boca \(cavidad bucal\)](#)
[Lengua](#)
[Paladar](#)
[Dientes](#)
[Glándulas salivales](#)
[Faringe](#)
[Deglución](#)
[Esófago](#)
[Estructura del aparato digestivo](#)
[Estómago](#)
[Intestino delgado](#)
[Digestión química](#)
[Función del intestino delgado](#)
[Páncreas](#)
[Hígado y producción de bilis](#)
[Funciones del hígado](#)
[Vesícula biliar](#)
[Intestino grueso](#)
[Hormonas del tubo digestivo](#)
[Nutrición, digestión química y metabolismo](#)
[Nutrimentos](#)
[Alimentación equilibrada](#)
[Grupos de nutrimentos](#)
[Agua](#)
[Carbohidratos](#)
[Grasas](#)
[Proteínas](#)
[Vitaminas](#)
[Minerales](#)
[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Crucigrama](#)

[Llene los espacios](#)

[Para profundizar](#)

[Ponga a prueba su aprendizaje](#)

[Afecciones](#)

Capítulo 10. Aparato urinario

[Mapa del cuerpo](#)

[Introducción](#)

[Aparato urinario](#)

[Riñones: estructura externa](#)

[Riñones: estructura interna](#)

[Nefronas](#)

[Cápsula glomerular \(de Bowman\)](#)

[Túbulo contorneado proximal \(TCP\)](#)

[Asa de Henle](#)

[Túbulo contorneado distal \(TCD\)](#)

[Conductos colectores](#)

[Funciones de los riñones](#)

[Riego sanguíneo del riñón](#)

[Formación de la orina](#)

[Filtración](#)

[Reabsorción selectiva](#)

[Excreción](#)

[Control hormonal de la reabsorción y secreción tubulares](#)

[Angiotensina y aldosterona](#)

[Vasopresina](#)

[Péptido natriurético auricular](#)

[Composición de la orina](#)

[Características de la orina normal](#)

[Uréteres](#)

[Vejiga urinaria](#)

[Uretra](#)

[Uretra masculina](#)

[Uretra femenina](#)

[Micción](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)
[Bibliografía](#)
[Lecturas adicionales](#)
[Actividades](#)
 [Preguntas de opción múltiple](#)
 [Falso o verdadero](#)
 [Rotule el diagrama 1](#)
 [Rotule el diagrama 2](#)
 [Crucigrama](#)
 [Búsqueda de palabras](#)
 [Llene los espacios](#)
 [Para profundizar](#)
 [Afecciones](#)

Capítulo 11. Aparato respiratorio

[Mapa del cuerpo](#)
[Introducción](#)
[Organización del aparato respiratorio](#)
[Vías respiratorias superiores](#)
[Vías respiratorias inferiores](#)
 [Laringe](#)
 [Tráquea](#)
 [Árbol bronquial](#)
[Riego sanguíneo](#)
[Respiración](#)
[Ventilación pulmonar](#)
 [Mecánica de la respiración](#)
[Trabajo respiratorio](#)
[Volúmenes y capacidades](#)
[Control de la respiración](#)
[Respiración externa](#)
 [Intercambio gaseoso](#)
 [Factores que influyen en la difusión](#)
[Ventilación y perfusión](#)
[Transporte de gases](#)
 [Transporte de oxígeno](#)
 [Hipoxia e hipoxemia](#)
 [Transporte de dióxido de carbono](#)
[Equilibrio acidobásico](#)
[Respiración interna](#)
[Conclusión](#)
[Glosario](#)
[Bibliografía](#)
[Lecturas adicionales](#)
[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)
[Falso o verdadero](#)
[Rotule el diagrama 1](#)
[Rotule el diagrama 2](#)
[Rotule el diagrama 3](#)
[Crucigrama](#)
[Búsqueda de palabras](#)
[Llene los espacios](#)
[Para profundizar](#)
[Afecciones](#)

Capítulo 12. Aparatos reproductores

[Introducción](#)

[Aparato reproductor masculino](#)

[Testículos](#)

[Espermatogénesis](#)

[Espermatozoides](#)

[Testículos e influencias hormonales](#)

[Escroto](#)

[Reflejo cremastérico](#)

[Pene](#)

[Epidídimo](#)

[Conducto deferente, conducto eyaculador y cordón espermático](#)

[Próstata](#)

[Aparato reproductor femenino](#)

[Genitales primarios](#)

[Ovarios](#)

[Corteza ovárica](#)

[Folículos de Graaf](#)

[Cuerpo amarillo](#)

[Médula ovárica](#)

[Ovogénesis](#)

[Función de las hormonas sexuales femeninas](#)

[Ciclo menstrual](#)

[Órganos internos](#)

[Útero](#)

[Trompas de Falopio](#)

[Vagina](#)

[Cuello uterino](#)

[Genitales externos](#)

[Mamas](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

Actividades

Preguntas de opción múltiple

Falso o verdadero

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama 2

Búsqueda de palabras

Llene los espacios 1

Llene los espacios 2

Para profundizar

Afecciones

Capítulo 13. Sistema nervioso

Mapa del cuerpo

Introducción

Organización del sistema nervioso

División sensitiva del sistema nervioso periférico

Sistema nervioso central

División motora del sistema nervioso periférico

Sistema nervioso somático

Sistema nervioso autónomo

Neuronas

Dendritas

Cuerpo celular

Axones

Vaina de mielina

Nervios sensitivos (aférentes)

Nervios motores (eferentes)

Potencial de acción

Propagación simple de impulsos nerviosos

Conducción saltatoria

Periodo refractario

Neurotransmisores

Neuroglia

Meninges

Líquido cefalorraquídeo

Encéfalo

Cerebro

Diencéfalo

Tallo encefálico

Cerebelo

Sistema límbico y formación reticular

Sistema nervioso periférico

Pares craneales

Médula espinal

Funciones de la médula espinal

[Nervios raquídeos](#)
[Sistema nervioso autónomo](#)
[División simpática \(lucha o huída\)](#)
[División parasimpática \(reposo y digestión\)](#)
[Conclusión](#)
[Glosario](#)
[Bibliografía](#)
[Lecturas adicionales](#)
[Actividades](#)
[Preguntas de opción múltiple](#)
[Falso o verdadero](#)
[Rotule el diagrama 1](#)
[Rotule el diagrama 2](#)
[Crucigrama](#)
[Para profundizar](#)
[Afecciones](#)

Capítulo 14. Los sentidos

[Introducción](#)
[Sentidos químicos](#)
[Sentido del olfato \(olfacción\)](#)
[Receptores olfatorios](#)
[Vía olfatoria](#)
[Discriminación olfatoria](#)
[Sentido del gusto](#)
[Papilas gustativas](#)
[Receptor gustativo](#)
[Vía gustativa](#)
[Sentidos del equilibrio y la audición](#)
[Estructura del oído](#)
[Oído externo](#)
[Oído medio](#)
[Oído interno](#)
[Equilibrio](#)
[Vías para las sensaciones del equilibrio](#)
[Audición](#)
[Proceso de la audición](#)
[Sentido de la vista](#)
[Aparato lagrimal](#)
[Ojo](#)
[Pared ocular](#)
[Túnica fibrosa](#)
[Túnica vascular \(úvea\)](#)
[Iris](#)
[Cuerpo ciliar](#)

[Coroides](#)
[Túnica neural \(retina\)](#)
[Organización de la retina](#)
[Cámaras oculares](#)
[Enfoque de imágenes en la retina](#)
[Refracción](#)
[Miopía, hipermetropía y presbicia](#)
[Procesamiento de la información visual](#)
[Procesamiento central de la información visual](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Búsqueda de palabras](#)

[Crucigrama](#)

[Llene los espacios](#)

[Para profundizar](#)

[Observe los diagramas](#)

[Ponga a prueba su aprendizaje](#)

[Afecciones](#)

Capítulo 15. Sistema endocrino

[Mapa del cuerpo](#)

[Introducción](#)

[Órganos endocrinos](#)

[Hormonas](#)

[Transporte de hormonas](#)

[Efectos de las hormonas](#)

[Control de la liberación de hormonas](#)

[Destrucción y eliminación de hormonas](#)

[Fisiología de los órganos endocrinos](#)

[Hipotálamo e hipófisis](#)

[Hormonas liberadas por la adenohipófisis](#)

[Somatotropina](#)

[Efectos](#)

[Regulación](#)

[Prolactina](#)

[Efectos](#)

[Regulación](#)

[Hormona luteinizante \(LH\) y hormona foliculo estimulante \(FSH\)](#)

[Efectos](#)
[Regulación](#)
[Tirotropina](#)
[Efectos](#)
[Regulación](#)
[Corticotropina](#)
[Efectos](#)
[Regulación](#)
[Glándula tiroides](#)
[Paratiroides](#)
[Glándulas suprarrenales](#)
[Médula suprarrenal](#)
[Corteza suprarrenal](#)
[Mineralocorticoides](#)
[Glucocorticoides](#)
[Páncreas](#)
[Insulina](#)
[Glucagón](#)
[Somatostatina](#)
[Conclusión](#)
[Glosario](#)
[Bibliografía](#)
[Lecturas adicionales](#)
[Actividades](#)
[Preguntas de opción múltiple](#)
[Falso o verdadero](#)
[Rotule el diagrama 1](#)
[Rotule el diagrama 2](#)
[Rotule el diagrama 3](#)
[Búsqueda de palabras](#)
[Llene los espacios](#)
[Para profundizar](#)
[Afecciones](#)

[Capítulo 16. Sistema inmunitario](#)

[Mapa del cuerpo](#)
[Introducción](#)
[Desarrollo de los glóbulos sanguíneos](#)
[Órganos del sistema inmunitario](#)
[Timo](#)
[Sistema linfático](#)
[Ganglios linfáticos](#)
[Tejido linfático](#)
[Bazo](#)
[Tipos de inmunidad](#)

[Sistema inmunitario innato](#)

[Barreras físicas](#)

[Barreras mecánicas](#)

[Barreras químicas](#)

[Glóbulos sanguíneos](#)

[Glóbulos sanguíneos del sistema inmunitario](#)

[Fagocitosis](#)

[Citotoxicidad](#)

[Inflamación](#)

[Sistema inmunitario adquirido](#)

[Inmunidad celular \(linfocitos T\)](#)

[Citotoxicidad \(destrucción celular\)](#)

[Control del sistema inmunitario](#)

[Memoria](#)

[Inmunidad humoral \(linfocitos B\)](#)

[Inmunoglobulinas \(anticuerpos\)](#)

[Inmunoglobulina G](#)

[Inmunoglobulina A](#)

[Inmunoglobulina M](#)

[Inmunoglobulina E](#)

[Inmunoglobulina D](#)

[Función de las inmunoglobulinas](#)

[Células citolíticas naturales](#)

[Respuesta primaria y secundaria a la infección](#)

[Inmunorrespuesta primaria](#)

[Inmunorrespuesta secundaria](#)

[Inmunizaciones](#)

[Inmunización pasiva](#)

[Inmunidad activa](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Falso o verdadero](#)

[Rotule el diagrama](#)

[Llene los espacios](#)

[Búsqueda de palabras](#)

[Para profundizar](#)

[Afecciones](#)

[Capítulo 17. Piel](#)

[Mapa del cuerpo](#)

[Introducción](#)

[Estructura de la piel](#)

[Epidermis](#)

[Queratinocitos](#)

[Melanocitos](#)

[Células de Langerhans](#)

[Células de Merkel](#)

[Capas de la epidermis](#)

[Estrato basal](#)

[Estrato espinoso](#)

[Estrato granuloso](#)

[Estrato lúcido](#)

[Estrato córneo](#)

[Dermis](#)

[Estratos papilar y reticular](#)

[Estructuras accesorias de la piel](#)

[Pelo](#)

[Glándulas cutáneas](#)

[Glándulas ecrinas](#)

[Glándulas apocrinas](#)

[Uñas](#)

[Funciones de la piel](#)

[Sensación](#)

[Termorregulación](#)

[Protección](#)

[Excreción y absorción](#)

[Síntesis de vitamina D](#)

[Conclusión](#)

[Glosario](#)

[Bibliografía](#)

[Lecturas adicionales](#)

[Actividades](#)

[Preguntas de opción múltiple](#)

[Verdadero o falso](#)

[Rotule el diagrama 1](#)

[Rotule el diagrama 2](#)

[Búsqueda de palabras](#)

[Llene los espacios](#)

[Para profundizar](#)

[Afecciones](#)

[**Valores normales**](#)



Colaboradores

Acerca de los editores

Ian Peate EN(G), RGN, DipN (Lond) RNT, BEd (Hons), MA (Lond) LLM

Director Editorial de la *British Journal of Nursing*

Director, School of Health Studies, Gibraltar

Ian comenzó su carrera de enfermería en 1981 en el Central Middlesex Hospital, y se convirtió en enfermero de una unidad de cuidados intensivos. Más tarde se sometió a una capacitación de tres años como enfermero en los hospitales Central Middlesex y Northwick Park, para hacerse enfermero del personal y luego jefe de piso. Ha trabajado en la enseñanza de la enfermería desde 1989. Sus principales áreas de interés son teoría y práctica de la enfermería, salud del varón, salud sexual y VIH. Ian ha publicado mucho. Es Profesor Invitado en Kingston University London y St George's, University of London.

Muralitharan Nair SRN, RMN, DipN (Lond) RNT, Cert Ed, BSc (Hons) MSc (Surrey), Cert in Counselling, FHEA

Muralitharan comenzó su carrera de enfermero en 1971 en el Edgware General Hospital. En 1975 inició su formación como enfermero en salud mental en el Springfield Hospital, y se desempeñó por aproximadamente un año. Trabajó en el St Mary's Hospital Paddington y el Northwick Park Hospital, y volvió al Edgware General Hospital para asumir el cargo de subjefe de piso y luego el de jefe de piso. Ha trabajado en la enseñanza de la enfermería desde 1989. Sus principales intereses abarcan fisiología, diabetes, enfermería quirúrgica y educación en enfermería. Muralitharan ha publicado extensamente en revistas y coeditado varios libros de texto. Está retirado de la docencia de tiempo completo pero trabaja como consultor en enfermería.

Acerca de los colaboradores

Carl Clare RN DipN, BSc (Hons), MSc (Lond), PGDE (Lond)

Carl inició su carrera de enfermería en 1990 como auxiliar de enfermería. Más tarde tomó el curso de tres años en el Selly Oak Hospital (Birmingham), y pasó a los hospitales Royal Devon y Exeter, después al Northwick Park Hospital, y finalmente a The Royal Brompton and Harefield NHS Trust como Resuscitation Officer y Honorary Teaching Fellow of Imperial College (Londres). Ha trabajado en la enseñanza de la enfermería desde 2001. Sus principales campos de interés son fisiología, sociología, cuidados cardiacos y reanimación. Carl ha publicado trabajos sobre cuidados cardiacos, reanimación y fisiopatología.

Louise McErlean RGN, BSc(Hons), MA (Herts)

Louise comenzó su carrera de enfermería en 1986 en el Victoria Infirmary de Glasgow, y se convirtió en enfermera general titulada. Más tarde completó el curso de cuidados intensivos para enfermeras generales tituladas mientras trabajaba en Belfast, y también laboró en el Royal Free Hospital. Ha sido activa en la enseñanza de la enfermería desde 2005. Sus principales áreas de interés son enseñanza de enfermeras pregraduadas y enfermería de cuidados intensivos.

Janet G Migliozi RN, BSc (Hons), MSc (Lon), PGDE, FHEA

Janet es profesora asociada en la School of Health & Social Work, University of Hertfordshire. Comenzó su carrera de enfermería en Londres y trabajó en diversos hospitales de esa ciudad, de manera predominante en cirugía vascular, ortopédica y de alta dependencia antes de especializarse en prevención y control de infecciones. Janet ha laborado en la educación superior desde 1999, y entre sus principales intereses se incluyen microbiología médica y resistencia microbiana, infecciones en la atención de la salud, seguridad del paciente, estrategias y educación de profesionales de la salud para prevención de infecciones a nivel de RU y Europa, y uso de la simulación clínica para minimizar riesgos en la atención de la salud. Janet ha publicado trabajos sobre la minimización de riesgos asociados a la atención de la salud y fisiopatología. Es miembro de la European Nurses Association y líder de investigación y desarrollo en la rama del este de Inglaterra de la Infection Prevention Society.

Peter S Vickers Cert Ed, DipCD, SRN, RSCN, BA, PhD, FHEA

Después de una carrera en educación, Peter comenzó la enfermería en 1980, y trabajó en el York District Hospital y los Hospitals for Sick Children, Great Ormond Street, Londres, donde se convirtió en Clinical Nurse Specialist in Paediatric Immunology. Después de obtener un grado en Biosciences and Health Studies, en 1999, obtuvo su doctorado tras investigar el desarrollo a largo plazo de niños con inmunodeficiencia combinada grave en RU y Alemania. Trabajó en la enseñanza de la enfermería por varios años, y ha escrito libros sobre las reacciones de los niños a la hospitalización temprana y sobre metodología de la investigación; también ha escrito capítulos de biociencia y fisiopatología en

libros de texto para enfermeras, y ha presentado artículos en conferencias internacionales. Sus áreas de interés son inmunología y enfermería inmunológica, enfermedades infecciosas, genética e investigación. Actualmente retirado, sigue escribiendo activamente, y fue Presidente de INGID (el organismo internacional de enfermeras que trabajan en el campo de las inmunodeficiencias primarias) de 2012 a 2014.

Anthony Wheeldon MSc (Lond), PGDE, BSc(Hons), DipHE, RN

Anthony comenzó su carrera de enfermería en el Barnet College of Nursing and Midwifery. Después de titularse en 1995 trabajó como enfermero y subjefe de piso en el Respiratory Directorate del Royal Brompton and Harefield NHS Trust en Londres. En 2000 comenzó a dar cursos de manejo cardiorrespiratorio para enfermeras graduadas antes de dedicarse de tiempo completo a la educación de enfermeras en la Thames Valley University en 2002. Anthony tiene una amplia gama de intereses en enfermería, como enfermería cardiorrespiratoria, anatomía y fisiología, valoración respiratoria, enseñanza de la enfermería, y aplicación de las biociencias en la práctica de la enfermería. En 2006 Anthony se integró a la University of Hertfordshire, donde ha impartido cursos de enfermería para graduados y posgraduados. Actualmente es profesor asociado de enfermería de adultos.



Agradecimientos

Ian agradece a su colega Jussi Lahtinen por su apoyo, a Mrs Frances Cohen por su continua asistencia y al personal de la biblioteca de la Gibraltar Health Authority.

Muralitharan da las gracias a su esposa, Evangeline, y a sus hijas, Samantha y Jennifer, por su continuo apoyo y paciencia.

Los autores expresan su gratitud a Magenta Styles, de Wiley, por su ayuda y aliento continuos.



Prefacio

Fue muy grato que nos hayan pedido escribir una segunda edición del popular *Anatomía y fisiología para enfermeras*. La primera edición ha sido muy bien acogida no sólo por los estudiantes de enfermería sino también por los de otras carreras en ciencias de la salud, y ello se refleja en esta segunda edición. Ésta conserva todos los atributos que hicieron exitosa a la primera edición, e integra muchas innovaciones tanto en el presente libro como en los sitios web que lo complementan.

Todos quienes participamos en el libro de texto nos dedicamos a suministrar cuidados de la salud de alta calidad, seguros y eficaces. Los autores somos todos experimentados académicos que trabajan en la educación superior, con muchos años de experiencia clínica, conocimientos y habilidades, y enseñamos a diversos grupos multidisciplinarios a distintos niveles académicos. Estamos seguros de que una vez que el lector haya adquirido una comprensión sólida de anatomía y fisiología podrá entender mejor las necesidades de las personas que tenga el privilegio de atender. Atención de alta calidad, segura y eficaz para todos es algo que quienes laboramos en el campo de la salud debemos esforzarnos en suministrar; sin embargo, será muy difícil lograrlo si no apreciamos a la persona de manera holística. Aquellos que suministran cuidados deben tomar en consideración los elementos anatómicos y fisiológicos, pero también deben considerar los aspectos psicosociales de la persona y su familia, y abordar las necesidades del individuo completo, de la persona en su totalidad. Este libro se ha diseñado de manera que aliente el aprendizaje y la comprensión. Esperamos que el lector disfrute su lectura, y lo que es más importante, que esté ávido de aprender más, que se sienta tentado a explorar más a fondo a medida que avance en su camino a convertirse en un proveedor de cuidados de la salud de clase mundial, seguro y eficaz.

El complemento de este libro, *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing and Healthcare Students* (Nair and Peate, 2013), también en su segunda edición, lo ayudará en su desarrollo y comprensión. En la parte de su plan de estudio que trata sobre el suministro de cuidados es importante que el lector sea confiable y competente en fisiopatología, anatomía y fisiología. No basta con que recuerde todos los hechos (y son muchos) de la anatomía y fisiología; también tiene que aplicarlos a aquellos a quienes atiende. Algunas de estas personas pueden ser vulnerables y estar en riesgo de sufrir daños, y es responsabilidad de la enfermera asegurarse de tener el conocimiento y la comprensión de las complejidades de los cuidados. La presente edición de *Anatomía y fisiología para enfermeras* ayudará al lector.

Varios programas de estudio de licenciatura en enfermería requieren el aspirante demuestre competencia en varias esferas, y esto incluirá anatomía y fisiología.

El cuerpo humano es tan bello por dentro como lo es por fuera; cuando mente y cuerpo trabajan en armonía el resultado es un mecanismo asombroso con la capacidad realizar innumerables cosas sorprendentes. Los estudiantes de enfermería practican y estudian en diversos entornos de atención de la salud, en el hospital y el ambiente de atención primaria e incluso en el mismo domicilio de la persona, donde deberán encontrar y atender a pacientes con diversos problemas anatómicos y fisiológicos. Emplear un abordaje fundamental con sólida comprensión de la anatomía y la fisiología proporcionará a los estudiantes de ciencias de la salud una base esencial sobre la cual brindar cuidados.

La anatomía puede definirse simplemente como la ciencia que estudia la estructura de los seres vivos; hay diccionarios que dan esa definición. *Anatomía y fisiología para enfermeras* se concentra en la anatomía humana, y para los fines de este libro la anatomía se define como el estudio de la estructura y el funcionamiento del cuerpo humano. Esto permite referirse al funcionamiento y a la estructura; en todos los seres vivos estructura y función se interconectan estrechamente. El cuerpo humano sólo puede funcionar por medio de aparatos y sistemas interrelacionados.

El término anatomía es de origen griego, y significa “cortar” o “disecar”. Los primeros estudios anatómicos con fines científicos (atribuidos a Vesalio, el anatomista flamenco del siglo XVI, médico y artista) se basaron en observaciones de cadáveres. Sin embargo, los abordajes contemporáneos de la anatomía humana difieren, ya que incluyen otros modos de observación; por ejemplo, con la ayuda del microscopio y otras herramientas complejas y tecnológicamente avanzadas. En la actualidad la anatomía es un campo de estudio extenso con muchas subdivisiones; el término anatomía con frecuencia va precedido por un prefijo (o seguido por un adjetivo) que identifica el método de observación; por ejemplo, microanatomía para el estudio de estructuras pequeñas como células o tejidos que sólo son visibles con ayuda de un microscopio, o anatomía macroscópica (el estudio de partes corporales que son visibles a simple vista, como el corazón o los huesos).

Los seres vivos pueden definirse desde varias perspectivas:

- Al nivel más pequeño, el nivel químico, los átomos, moléculas y enlaces químicos que conectan los átomos entre sí constituyen la estructura en que se basa la actividad biológica.
- La unidad más pequeña de la vida es la célula. Cuerpos especializados –los organelos– dentro de la célula realizan funciones específicas. Las células a su vez pueden especializarse; por ejemplo, las células óseas y las musculares.
- Los tejidos son grupos de células similares que realizan una función en común. Por ejemplo, el tejido muscular está formado por células musculares.
- Los órganos son grupos de diferentes tipos de tejidos que trabajan juntos en una actividad específica. El estómago, por ejemplo, es un órgano formado por músculo, nervios y otros tejidos.
- Aparatos y sistemas constan de dos o más órganos que trabajan juntos para realizar una tarea dada. Así, la función del aparato digestivo consiste en las

tareas coordinadas de varios órganos, incluidos estómago, intestinos, páncreas e hígado.

- El siguiente nivel de organización que posee atributos biológicos es el de organismo; éste tiene las capacidades de obtener y procesar energía, de reaccionar a los cambios en el ambiente y de reproducirse.

Dado que la anatomía se relaciona con el funcionamiento de los organismos, casi siempre es inseparable de la fisiología. La fisiología puede describirse como la ciencia que estudia el funcionamiento de células, tejidos, órganos y organismos. La fisiología trata sobre el modo en que el organismo realiza sus diversas actividades, considerando cómo se mueve, cómo se nutre, cómo se adapta a ambientes cambiantes: humano y animal, hostil y amistoso. Es en esencia el estudio de la vida.

La fisiología es la base sobre la cual construimos el conocimiento de lo que la vida es; puede ayudarnos a decidir cómo tratar la enfermedad y a adaptarnos a los cambios impuestos al cuerpo por alrededores nuevos y cambiantes, internos y externos. Estudiar fisiología ayudará al lector a entender la enfermedad (fisiopatología) que surge de lo anterior; los fisiólogos que trabajan con otros especialistas tienen las herramientas para crear nuevas maneras de tratar las enfermedades.

Así como hay muchas ramas de la anatomía, también hay varias ramas de la fisiología que pueden estudiarse, como endocrinología, neurología y cardiología.

Este libro tiene 17 capítulos. La idea no es que se lea de principio a fin, pero estudiar primero los capítulos 1 a 4 ayudará al lector a ponerse al corriente con algunos de los conceptos más complejos; lo alentamos a que se sumerja en el libro en el orden que encuentre más conveniente. Se recurre a ilustración artística clara, de gran tamaño y a todo color para ayudar al lector a comprender y apreciar las complejidades del cuerpo humano desde una perspectiva anatómica y fisiológica. En cada capítulo hay más características que lo ayudarán a avanzar y desarrollar su base de conocimiento; alentamos al lector a sacar el máximo partido de esta obra.

El libro lleva al lector del nivel microscópico al macroscópico en el estudio de la anatomía y la fisiología. En el índice de contenido podrá constatarse que se avanza de células a tejidos y a aparatos y sistemas. Este enfoque para la enseñanza es un método de eficacia comprobada, en especial cuando se trata de ayudar a los estudiantes a comprender un tema que en general se considera complejo.

Este libro se escribió teniendo presentes esos principios clave, a fin de que el lector tenga una base firme para su práctica y para su trabajo académico. En esta segunda edición se retienen las características que han ayudado a muchos estudiantes a dar vida al fascinante tema de la anatomía y la fisiología humanas; hay además una serie de nuevas características incorporadas para contribuir aún más a la experiencia del lector.

Cada capítulo comienza con varias preguntas encaminadas a probar el conocimiento previo del estudiante, que le permiten autodiagnosticarse. Después

de esto se presentan los objetivos de aprendizaje, que abarcan el contenido del capítulo, pero el aprendizaje corresponde al lector; esos objetivos es lo que se espera del lector después de que lea, analice y absorba la información. En los objetivos se indica lo mínimo que el estudiante puede aprender; se le recomienda no limitarse a esos objetivos, que están ahí para guiarlo. Siempre que es pertinente se presenta un mapa corporal para el capítulo, el cual permite al lector “situarse y visualizar” la anatomía de lo que se expone.

Otra característica de la mayoría de los capítulos que se ofrece para ayudar al lector a considerar a las personas que atiende y a hacer conexiones con la clínica son los recuadros “Consideraciones clínicas”. Estos recuadros demuestran la aplicación del tema que se está aprendiendo, y mencionan aspectos específicos de la atención que el lector puede encontrar al trabajar con personas en ambientes de atención de la salud.

Una nueva adición son los recuadros “Manejo de medicamentos”, donde los autores analizan la administración de fármacos y otros aspectos de la farmacoterapia. Este recurso ayuda a los lectores a apreciar la importancia de entender la anatomía y la fisiología a fin de administrar medicamentos de manera segura y eficaz.

En la mayoría de los capítulos hay una serie de “Instantáneas”. Esta nueva adición relaciona la teoría con la práctica, y presenta al lector de un modo práctico los temas que se exponen en el capítulo.

Al final de cada capítulo se proporciona un banco de preguntas de opción múltiple. Algunas de las respuestas no se encuentran en el texto; en tal caso se alienta al lector a investigar, con lo cual avanzará aún más en su aprendizaje.

Otras características del libro ayudarán al estudiante a medir lo que ha aprendido; por ejemplo, “Falso o verdadero”, “Rotule el diagrama”, “Para investigar”, “C crucigramas” y “Busqueda de palabras”. El objetivo de estos recursos es dar esparcimiento, pero también ayudan a hacer conexiones entre los temas del capítulo.

La sección “Afecciones” al final de cada capítulo presenta una lista de trastornos relacionados con los temas cubiertos en ese capítulo. Se alienta al lector a dedicar tiempo a escribir notas sobre cada una de las afecciones enumeradas, lo cual lo ayudará a relacionar teoría y práctica. Las notas pueden tomarse de otros libros de texto u otros recursos, por ejemplo las personas con que el lector trabaja en un área de atención, o pueden basarse en personas a las que el lector ha atendido. Sin embargo, en este último caso es importante asegurarse de cumplir con las normas de confidencialidad.

Al final de cada capítulo se proporciona un glosario, para facilitar el aprendizaje de términos difíciles; comprender esos términos es importante para el éxito del lector como estudiante de ciencias de la salud. Una vez que los domine su vocabulario médico se habrá expandido y el lector estará en mejor posición para ampliarlo aún más.

En esta nueva edición se incluye una lista de prefijos y sufijos así como una tabla de valores normales de análisis de laboratorio.

Los autores hemos disfrutado escribir esta segunda edición, y sinceramente

esperamos que usted disfrute leerla. Le deseamos mucho éxito con sus estudios, tanto en el aula como en las muchas áreas de atención en que podría desarrollarse.

Bibliografía

- Nair, M. and Peate, I. (2013) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing and Healthcare Students, 2nd edn.* Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nursing and Midwifery Council (2010) Standards for Pre-Registration Nursing Education. <http://standards.nmc-uk.org/PublishedDocuments/Standards%20for%20pre-registration%20nursing%20education%2016082010.pdf> (accessed 7 November 2015).



Prefijos y sufijos

Prefijo. Un prefijo se coloca al principio de una palabra para modificar su significado. Pre- significa “antes”. Los prefijos también pueden indicar localización, número o tiempo.

Sufijo. Partícula colocada al final de una palabra y que cambia su significado.

| Prefijo o sufijo | Significado | Ejemplo(s) |
|-------------------------------|---|---|
| a-, an- | no, sin | analgésico, apatía |
| ab- | desde; lejos de | abducción |
| abdomin(o)- | del abdomen o relacionado con él | abdomen |
| acr(o)- | extremo, más alto | acrocrania, acromegalia, acrostéolisis, acropostia |
| acu(s)(io)- | del oído o relacionado con él | acúmetro, acústico |
| ad- | en, aumento, sobre, hacia | aducción |
| aden(o)-, aden(i)- | de una glándula o relacionado con ella | adenocarcinoma, adenología, adenotomo, adenotifus |
| adip(o)- | de la grasa o el tejido adiposo o relacionado con ellos | adipocito |
| aer(o)- | aire, gas | aerosinusitis |
| al(o-) | diferente, o agregado | aloantígeno, alopatía |
| alb- | color blanco o palidez | albino |
| -alge(si)- | dolor | analgésico |
| -algia, - alg(i)o- | dolor | mialgia |
| aluc- | vagar la mente | alucinosis |
| | | |

| | | |
|------------------------------|--|---------------------------|
| ambi- | colocado a ambos lados | ambidextro |
| amni(o)- | relativo al saco membranoso fetal (amnios) | amniocentesis |
| ana- | regreso, de nuevo | anaplasia |
| ancil(o)-, anquil(o)- | denota algo torcido o doblado | anquilosis |
| andr(o)- | relativo a un varón | androide, andrología |
| angi(o)- | vaso sanguíneo | angiograma |
| ante- | indica anterioridad en tiempo, o que algo está colocado frente a otra cosa | anteparto |
| anti- | colocado “contra” o “en oposición” a otra cosa | anticuerpo, antipsicótico |
| arteri(o)- | de una arteria o relativo a ella | arteriola, arterial |
| articul(o)- | articulación | articular |
| artr(o)- | de las articulaciones o extremidades o relativo a ellas | artritis |
| -asa | enzima | lactasa |
| -astenia | debilidad | miastenia grave |
| ater(o)- | depósito de grasa, depósito de material blando | aterosclerosis |
| aur(i)- | del oído o relativo a él | aural |
| auricul(o)- | de una aurícula (en especial cardíaca) | auriculoventricular |
| aut(o)- | uno mismo; propio | autoinmunitario |
| axil(o)- | de la axila o relativo a ella | axilar |
| bi- | dos, doble | binario |
| bio- | vida | biología |
| blefar(o)- | del párpado o relacionado con él | blefaroplasto |
| bradi- | “lento” | bradicardia |
| braqui(o)- | del brazo o relacionado con él | arteria braquial |
| bronqu(i)- | bronquio | bronquiolitis obliterante |
| buc(o)- | del carrillo o relacionado con él | bucolabial |
| | | |

| | | |
|-------------------------------------|--|-----------------------|
| burs(o)- | bolsa (saco de líquido entre los huesos) | bursitis |
| carcin(o)- | cáncer | carcinoma |
| cardi(o)- | del corazón o relacionado con él | cardiología |
| cario- | núcleo | eucariote |
| carp(o)- | de la muñeca o relacionado con ella | carpopedio |
| cefal(o)- | de la cabeza o relativo a ella (en su totalidad) | cefalalgia |
| -cele | saco, hernia | hidrocele, varicocele |
| -centesis | punción quirúrgica para aspiración | amniocentesis |
| cerebel(o)- | del cerebelo o relativo a él | cerebeloso |
| cerebr(o)- | del cerebro o relacionado con él | cerebrología |
| cian(o)- | azul | cianosis |
| -cida | que mata o destruye | bacteriocida |
| cif(o)- | jorobado | cifoscoliosis |
| cili- | de los cilios o las pestañas o relativo a ellos | ciliar |
| cin(e)-, cin(o)-, cinesi(o)- | movimiento | cinestesia |
| circun(m)- | “alrededor”; que rodea | circuncisión |
| cist(o)-, cist(i)- | de la vejiga urinaria o relativo a ella | cistotomía |
| cit(o)- | célula | citocina |
| -cito | célula | leucocito |
| col(e)- | de la bilis o relativo a ella | colecistitis |
| col(o)-, colono- | colon | colonoscopia |
| colecist(o)- | de la vesícula biliar o relativo a ella | colecistectomía |
| colp(o)- | de la vagina o relativo a ella | colposcopia |
| condr(i)o- | cartílago, gránulo, granular | condrocalcinosis |
| contra- | contrario, contra | contraindicar |
| coron(o)- | corona | coronario |
| cost(o)- | de las cortillas o relativo a ellas | costocondral |

| | | |
|--------------------------------|---|---|
| crane(o)- | del cráneo o relativo a él | craneología |
| cri(o)- | frío | crioablación |
| -crin(o)- | secretar | endocrino |
| crom(ato)- | color | hemocromatosis |
| cuadr(i)- | cuatro | cuadríceps |
| -cutaneo | piel | subcutáneo |
| -dactil(o) - | de un dedo o relativo a él | dactilología, polidactilia |
| dent(o)- | de los dientes o relativo a ellos | dentista |
| dermat(o)-, derm(o) | de la piel o relativo a ella | dermatología |
| -desis | unión | artrodesis |
| dextr(o)- | derecho, en el lado derecho | dextrocardia |
| di- | dos | diplopía |
| dia- | a través, durante, de un lado a otro | diálisis |
| dif- | aparte, separación | diferente |
| digit- | del dedo o relativo a él | digital |
| dinam(o)- | fuerza, energía, potencia | dinamómetro |
| -dinia | dolor | vulvodinia |
| -dipsia | sed | polidipsia, hidroadipsia, oligodipsia |
| dis | malo, difícil, defectuoso, anormal | disfagia, disfasia |
| dors(o)-, dors(i)- | de la espalda o relativo a ella | dorsal, dorsocefálico |
| duoden(o)- | duodeno | duodenal |
| ec- | fuera, lejos | ectopia, ectópico |
| ect(o)- | externo, fuera | ectoblasto, ectodermo |
| -ectasia | expansión, dilatación | bronquiectasia, telangiectasia |
| -ectomía | denota cirugía o extirpación de una parte | mastectomía |

| | | |
|-----------------------------------|---|--|
| | corporal; resección, excisión | |
| -emesis | vómito | hematemesis |
| -emia | estado sanguíneo | anemia |
| encefal(o)- | del encéfalo o relativo a él | encefalograma |
| endo- | interno, interior | endocrinología, endospora |
| enter(o)- | del intestino o relativo a él | gastroenterología |
| eosin(o)- | rojo | eosinófilo |
| epi- | en, sobre | epicardio, epidermis, epidural, epiesclerótica, epistaxis |
| eritr(o)- | rojo | eritrocito |
| escamo(so)- | cubierto de escamas | escamocelular |
| escler(o)- | duro | esclerodermia |
| -(e)sclerosis | endurecimiento | aterosclerosis, esclerosis |
| escoli(o)- | torcido | escoliosis |
| -esofágico, esofag(o)- | del esófago o relativo a él | gastroesofágico |
| espasmo- | espasmo | espasmódico |
| esperma(to)-, espermo- | semen, espermatozoides | espermatogénesis |
| esplen(o)- | bazo | esplenectomía |
| espondil(o)- | de la columna vertebral o las vértebras o relativo a ellas | espondilitis |
| -estesi(o)- | sensación | anestesia |
| estomat(o)- | de la boca o relativo a ella | estomatogástrico, estomatognático |
| ex- | fuera, lejos de | excisión, exoftalmia |
| exo- | fuera | exoesqueleto |
| extra- | fuera | extradural |
| | | |

| | | |
|-------------------------------------|--|------------------------------------|
| faci(o)- | de la cara o relativo a ella | faciopléjico |
| facó | con forma de lente; relativo al cristalino del ojo | facólisis, facómetro, facoescotoma |
| fago-, -fago, -fagia | comer, ingerir | fagocito, sarcofagia |
| faring(o)- | de la faringe o relativo a ella | faringitis, faringoscopia |
| farmaco- | medicamento | farmacología |
| fibr(o)- | fibra | fibroblasto |
| fleb(o)- | de las venas o relativo a ellas | flebografía, flebotomía |
| -fobia | temor exagerado, sensibilidad | aracnofobia |
| fon(o)- | sonido | fonograma, sinfonía |
| fosa | zona baja o deprimida; trinchera o canal | fosa oval |
| fot(o)- | de la luz o relativo a ella | fotopatía |
| fren(i)-, fren(o)-, -frénico | la mente | esquizofrenia |
| front(o)- | de la frente o relativo a ella | frontonasal |
| galact(o)- | leche | galactorrea |
| gastr(o)- | del estómago o relativo a él | gástrico, gastroenteritis |
| -geno, -génico | formativo, relacionado con la producción | cardiógeno |
| gin(ec)o- | mujer | ginecomastia |
| gingiv(o)- | de las encías o relativo a ellas | gingivitis |
| glauc(o)- | gris o azulado | glaucoma |
| glico- | dulce; relacionado con los dioles, la glicina y los glicoles | etilenglicol |
| glos(o)-, glot(o)- | de la lengua o relativo a ella | glosología |
| gluc(o)- | azúcar | glucólisis |
| gon(o)- | semilla, semen; reproductivo | gonorrea |
| | | |

| | | |
|----------------------------|---|-------------------------|
| -(g)nos- | conocimiento | diagnóstico, pronóstico |
| -grafía | proceso de registrar, y el registro mismo | angiografía |
| -grafo | instrumento usado para registrar datos o imágenes | electrocardiógrafo |
| -gram-, -grama | registro o imagen | angiograma |
| hemangi(o)- | vasos sanguíneos | hemangioma |
| hemat(o)-, hem- | de la sangre o relacionado con ella | hematología |
| hemi- | mitad | hemisferio, hemiplejia |
| hepat(o)-, hepatic- | del hígado o relativo a él | hepatología |
| heter(o)- | “el otro” (de dos), como adición, o diferente | heterogéneo |
| hidr(o)- | agua | hidrófobo |
| hip(o)- | “por debajo de lo normal” | hipovolemia |
| hiper- | “extremo” o “más allá de lo normal” | hipertensión |
| hist(o)-, histio- | tejido | histología, histiocito |
| hister(o)- | del útero o relativo a él | histerectomía, histeria |
| hom(o)- | lo mismo que el otro, en común | homosexualidad |
| home(o)- | similar | homeopatía |
| -iatría | campo de la medicina; determinado componente corporal | podiatría, psiquiatría |
| -icia | conocimiento sistematizado, tratamiento | obstetricia |
| ileo- | íleon | ileocecal |
| infra- | abajo | infrahioideo |
| inter- | entre | interarticular |
| intra- | dentro | intramural |
| -io | estructura, tejido | pericardio |
| ipso- | mismo | ipsolateral |
| | | |

| | | |
|---------------------------------|--|------------------------|
| -ismo- | espasmo, contracción | hemiballismo |
| iso- | “igual” | isotónico |
| isqui(o)- | del isquión | isquiático |
| -ista | especialista | instrumentista |
| -itis | inflamación | amigdalitis |
| labi(o)- | del labio o relativo a él | labiodental |
| lact(i)-, lact(o)- | leche | lactación |
| lagrim(o)- | lágrimas | lagrimal |
| lapar(o)- | de la pared abdominal o el flanco o relativo a ellos | laparotomía |
| laring(o)- | de la laringe o relativo e ella | laringitis |
| latero- | lateral | lateroposterior |
| -lepsis, -lepsia | acceso, convulsión | epilepsia, narcolepsia |
| lept(o)- | ligero, esbelto | leptomeningeo |
| leuc(o)- | blanco | leucocito |
| lev(o)- | izquierdo, lado izquierdo | levocardia |
| linf(o)- | linfa | linfedema |
| lingu(a)-, lingu(o)- | de la lengua o relativo a ella | lingüística |
| lip(o)- | grasa | liposucción |
| lis(o)-, -lítico | disolución | lisosoma |
| -lisis | destrucción, separación | parálisis |
| lit(o)- | piedra, cálculo | litotripsia |
| log(o)- | habla | logopedia |
| -logía | estudio académico o práctica de determinado campo | hematología, urología |
| -logo | que estudia determinado campo | oncólogo, patólogo |
| macr(o)- | grande, largo | macrófago |
| -malacia | ablandamiento | osteomalacia |
| | | |

| | | |
|--|--|------------------------------|
| mam(o)- | de la mama o relativo a ella | mamografía |
| mamil(o)- | del pezón o relativo a él | mamilitis |
| manu- | de la mano o relativo a ella | manufactura |
| mast(o)- | de la mama o relativo a ella | mastectomía |
| meg(a)-, megal(o)-, - megalia | crecimiento, millón | esplenomegalia, megámetro |
| melan(o)- | negro | melanina |
| mening(o)- | membrana | meningitis |
| meta- | después, atrás | metacarpo |
| metr(o)- | relativo a las condiciones del útero | metrorragia |
| -metría | proceso de medir | optometría |
| -metro | instrumento para medir o contar | esfigmomanómetro |
| mi(o)- | del músculo o relativo a él | mioblasto |
| mic(o)- | hongo | onicomicosis |
| micro- | pequeño, o relativo a la pequeñez | microscopio |
| miel(o)- | de la médula ósea o la médula espinal o relativo a ellas | mieloblasto |
| mili- | milésimo | mililitro |
| miri- | diez mil | miríada |
| miring(o)- | tímpano del oído | miringotomía |
| mon(o)- | único, simple | mononucleosis infecciosa |
| morf(o)- | forma | morfología |
| muscul(o)- | músculo | musculoesquelético |
| narc(o)- | estupor, sueño | narcolepsia |
| nas(o)- | de la nariz o relativo a ella | nasofaríngeo |
| necr(o)- | muerte, muerto | necrosis, necrosante |
| nefr(o)- | del riñón o relativo a él | nefrología |
| neo- | nuevo | neoplasia |
| | | |

| | | |
|---|---|-------------------------------------|
| neum(o)- | de los pulmones o relativo a ellos | neumonocito, neumonía |
| neumat(o)- | aire, pulmón | neumatocele |
| neur(i)-, neur(o)- | de los nervios y el sistema nervioso o relativo a ellos | neurofibromatosis |
| normo- | normal | normocapnia |
| ocul(o)- | de los ojos o relativo a ellos | oculista |
| odin(o)- | dolor | estomatodinia |
| odont(o)- | de los dientes o relativo a ellos | ortodoncista |
| oftalm(o)- | del ojo o relativo a él | oftalmología |
| -oid(e) | parecido a | sarcoidosis |
| -ola | pequeño | arteriola |
| olig(o)- | poco, pocos | oliguria |
| -oma | Tumor, masa, acumulación | sarcoma, teratoma |
| onco- | tumor, masa, volumen | oncología |
| onic(o)- | de la uña o relativo a ella | onicofagia |
| oo- (poco usado) | del óvulo o relativo a él | oogonio |
| optic(o)- | del ojo o sus propiedades químicas o relativo a ellos | opticoquímico |
| orqui(o)-, orquid(o)-, orc(o)- | testículo | orquiectomía, orquidectomía |
| -oseo- | del hueso o relativo a él | interóseo |
| osi- | hueso | osificante |
| -osis | estado, enfermedad o aumento | ictiosis, psicosis, osteoporosis |
| ost(e)-, oste(o)- | hueso | osteoporosis |
| -ostomía | creación de una abertura | colostomía |
| ot(o)- | del oído o relativo a él | otología |
| ovari(o)- | del ovario o relativo a él | ovariectomía |

| | | |
|-------------------------------|--|--|
| ovo-, ovi-, ov- | del óvulo o relativo a él | ovogénesis |
| palpebr- | del párpado o relativo a él | palpebral |
| pan-, pant(o)- | completo o “que lo contiene todo” | panofobia, panóptico |
| papil- | del pezón o relativo a él; con forma de pezón | papilitis |
| papul(o)- | pápula, una pequeña elevación o tumefacción de la piel | papulovesicular |
| paqui- | grueso | paquidermia |
| para- | al lado de, anormal | paraciesia |
| -paresia | parálisis leve | hemiparesia |
| parvo- | pequeño | parvovirus |
| pat(o)- | enfermedad | patología |
| -patía | enfermedad, trastorno | sociopatía, neuropatía |
| pector- | tórax | pectoralgia, pectoriloquía, pectorofonía |
| ped-, paido- | del niño o relativo a él | pediatría, paidología |
| pelv(i)-, pelv(o)- | hueso de la cadera | pelvis |
| -penia | deficiencia | osteopenia |
| -pepsia | relacionado con la digestión o el aparato digestivo | dispepsia |
| peri- | alrededor; que rodea | periodontal |
| -pexia | fijación | nefropexia |
| pi(o)- | pus | piometra |
| piel(o)- | pelvis | pielonefritis |
| pir(o)- | fiebre | antipirético |
| -plasia | formación, desarrollo | acondroplasia |
| -plastia | reparación quirúrgica, reconstrucción | rinoplastia |
| -plejia | parálisis | paraplejia |
| pleo- | más, excesivo, múltiple | pleomorfismo |

| | | |
|-----------------------------|---|------------------------------|
| pleur(o)-, pleur(a)- | de las costillas o relativo a ellas | pleurógeno |
| -plexia | acceso o convulsión | cataplexia |
| pod-, -pod-, -ped | del pie o relativo a él; dotado de pies | podólogo |
| poli- | “pluralidad” de algo | polimiositis |
| pos(t)- | posterior, trasero | posoperatorio, postsináptico |
| -poyesis | producción | hematopoyesis |
| pre- | antes, en posición y en tiempo | prematureo |
| presbi(o)- | edad avanzada | presbiopía |
| prim- | primero, más importante | primario |
| pro(s)- | antes o anterior | prosencefalo |
| proct(o)- | ano, recto | proctología |
| prot(o)- | primero, más importante | protoneurona |
| psic-, psic(o) | de la mente o relativo a ella | psicología, psiquiatría |
| -ptisis | escupir; hemoptisis, el acto de expectorar sangre proveniente de los pulmones o los bronquios | hemoptisis |
| -ptosis | que cae, que se inclina, descendente, prolapso | apoptosis, nefroptosis |
| -pulmon-, pulmo- | de los pulmones o relativo a ellos | broncopulmonar |
| querat(o)- | córnea (del ojo), córneo (respecto a la piel) | queratoscopio |
| quimi(o)- | química | quimioterapia |
| radi(o)- | radiación | radioterapia |
| -rafia | sutura quirúrgica | nefrorrafia |
| -ragia- | expulsión; flujo rápido de sangre | hemorragia, menorragia |
| -rea | flujo, secreción | diarrea |
| ren(o)- | de los riñones o relativo a ellos | renal |
| retro- | hacia atrás, posterior | retroversión, retrovirus |
| | | |

| | | |
|---------------------------------|--|-------------------------------------|
| -rexia | ruptura | cariorrexia |
| rin(o)- | de la nariz o relativo a ella | rinoplastia |
| rod(o)- | rosa (la flor); rojo | rodofita |
| -rupt- | ruptura, expulsión | erupción, abrupto |
| salping(o)- | tubo, conducto | salpingectomía, salpingofaríngeo |
| sangui-, sanguino- | de la sangre o relativo a ella | exsanguinotransfusión |
| sarco- | muscular, con aspecto de carne | sarcoma |
| -scopia- | uso de instrumentos para visualizar | endoscopia |
| -scopio- | instrumento para visualizar | estetoscopio |
| semi- | mitad, parcial | semiconsciente |
| seud(o)- | falso, espurio, que imita | seudoefedrina |
| sial(o)- | saliva, glándula salival | sialogogo |
| sigmoid(o)- | sigmoideo, curvatura en forma de S | colon sigmoide |
| sin(o)-, sin(u)- | del seno o relativo a él | sinusitis |
| somat(o)-, somatico- | cuerpo, corporal | somatosensitivo |
| sor- | que causa prurito | soriasis |
| -spadias- | hendidura, fisura | hipospadias, epispadias |
| -stalt- | contracción | peristaltismo |
| -stasis | detención, inmovilidad | citostasis, homeostasis |
| -staxis | goteo, escurrimiento | epistaxis |
| sten(o)- | breve, estrecho, estrechez | estenografía |
| -stenosis | estrechamiento anormal de un vaso sanguíneo u otro órgano o estructura tubulares | reestenosis |
| sub- | abajo, inferior | subcutáneo |
| super- | en exceso, arriba, superior | supernumerario |
| supra- | arriba, excesivo | supraorbitario |
| | | |

| | | |
|---------------------------------------|---|---------------------------|
| suprarren(o)- | de las glándulas suprarrenales o relacionado con ellas | suprarrenalectomía |
| taqui- | rápido, a veces con irregularidad | taquicardia |
| tec(a)- | estuche, vaina | intratecal |
| -tensión | presión | hipertensión |
| terap- | tratamiento | hidroterapia, terapéutico |
| term(o)- | calor | termómetro |
| tetan- | rígido, tenso | tetania, tétanos |
| tim- | emociones | distimia |
| timpan(o)- | tímpano del oído | timpanocentesis |
| tir(o)- | tiroideo | tirocele |
| -tomía | acto de cortar; incisión | gastrotomía |
| -tomo | instrumento cortante | osteótomo |
| -tonía | tensión | hipotonía |
| tono- | tono, tensión, presión | tonómetro |
| top(o)- | lugar, local | tópico |
| torac(i)-, torac(o)-, toracico | del tórax o la parte comprendida entre las mamas y el cuello o relativo a ellos | toracolumbar |
| tort(i)- | torcido | tortícolis |
| tox(i)-, tox(o)-, toxic(o)- | toxina, veneno | toxoplasmosis |
| trans- | que se mueve o sitúa al través; a través de | transfusión |
| traque(o)- | tráquea | traqueotomía |
| traquel(o)- | del cuello o relativo a él | traqueloplastia |
| tri- | tres | trisomía |
| -tripsia | aplastamiento | litotripsia |
| triqu(i)-, triquia, tric(o)- | del pelo o relativo a él; con forma de pelo | tricocisto |
| | | |

| | | |
|----------------------|---|--------------------------------|
| -trofia | nutrición, desarrollo | seudohipertrofia |
| tromb(o)- | de un coágulo sanguíneo o relativo a él, o a la coagulación de la sangre | tromboembolia, trombocitopenia |
| -ula, -ulo | pequeño | célula, nódulo |
| ultra- | más allá, excesivo | ultrasonido |
| un(i)- | uno | unilateral |
| ur(o)- | de la orina o relativo a ella o al aparato urinario; más específicamente, relativo a la química fisiológica de la orina | urología |
| uter(o)- | del útero o relativo a él | uteroplacentario |
| vagin- | de la vagina o relativo a ella | vaginoplastia |
| varic(o)- | vena hinchada o torcida | varicosidad |
| vas(o)- | conducto, vaso sanguíneo | vasoconstricción, vasomotor |
| vasculo- | vaso sanguíneo | vasculotoxicidad |
| ven- | de las venas o relativo a ellas, una vena | venipunción, venoespasma |
| ventr(o)- | del vientre o relativo a él; las cavidades estomacales | ventrodorsal |
| ventricul(o)- | de los ventrículos o relativo a ellos; cualquier región hueca dentro de un órgano | ventriculografía |
| -version | cambio de posición | anteversión, retroversión |
| vesic(o)- | de la vejiga o relativo a ella | vesical |
| viscer(o) | de los órganos internos (las vísceras) o relacionado con ellos | visceromegalia |
| xant(o)- | amarillo | xantopatía |
| xen(o)- | ajeno, diferente | xenoinjerto |
| xer(o)- | seco, desértico | xerostomía |
| yatr(o)- | de la medicina o el médico o relacionado con ellos | yatrógeno |
| yuxta- | cerca de, a lo largo de o junto a | yuxtaglomerular |
| zim(o)- | fermentación | enzima, lisozima |

zo(o)-

animal, vida animal

zoología

Cómo usar este libro de texto

Características del presente libro

Los recuadros **Objetivos de aprendizaje** son un resumen de los temas cubiertos en ese capítulo.

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir los niveles de organización de un organismo
- Describir las características de la vida
- Comprender y explicar un átomo y su relación con las moléculas
- Comprender y describir las maneras en que los átomos pueden unirse entre sí
- Describir algunos elementos y sus características
- Entender cómo se leen las ecuaciones químicas
- Describir la escala del pH y su importancia para la vida
- Enumerar las diferencias entre sustancias orgánicas e inorgánicas
- Enumerar las diversas maneras en que se miden la materia y sus propiedades

Su libro de texto tiene abundantes **ilustraciones y cuadros**.

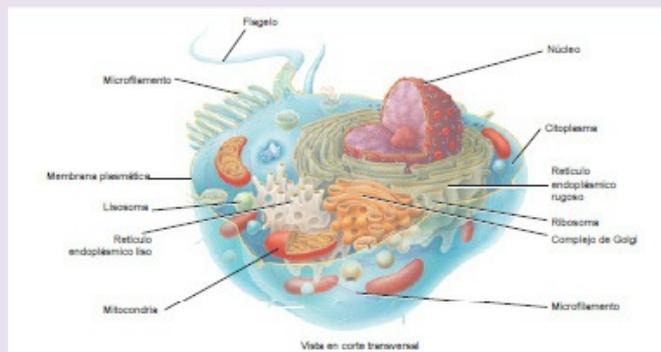


Figura 2-2. Estructura de una célula. Fuente: Nair and Peate (2009). Reproducido con permiso de John Wiley & Sons.

Cuadro 2-1. Compartimientos celulares y sus funciones

| Componentes | Funciones |
|---------------------------------------|--|
| Centriolos | Reproducción celular |
| Cromatina | Contiene información genética |
| Cilios (pleurales) | Desplazan líquido o partículas sobre la superficie de la célula |
| Citoplasma | Porción líquida en que están suspendidos los organelos |
| Citoesqueleto | Da soporte y un sustrato para enzimas específicas |
| Retículo endoplásmico (rugoso y liso) | Muchas funciones, incluidas transporte de proteínas, modificación de fármacos y síntesis de lípidos y esteroides |
| Gránulos de glucógeno | Reservas de glucógeno |
| Complejo de Golgi | Empaca proteínas para su secreción |
| Filamento intermedio | Ayuda a determinar la forma de la célula |
| Lisosomas | Degradan y digieren sustancias nocivas; en células normales, algunas de las proteínas sintetizadas pueden ser defectuosas; los lisosomas se encargan de su eliminación |
| Microfilamentos | Dan soporte estructural y participan en el movimiento celular |
| Microtúbulos | También aportan canales de conducción a través de los cuales pueden desplazarse diversas sustancias por el citoplasma; dan forma y soporte al citoesqueleto |

Las

cada capítulo.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Cuál es el pH normal de la sangre?
 - (a) 7.45
 - (b) 7.35
 - (c) 7.00
 - (d) 8.02
2. La proteína plasmática más abundante en la sangre es:
 - (a) Albúmina.
 - (b) Globulina.
 - (c) Aminoácidos.
 - (d) Factores de la coagulación.
3. El flujo de sangre a la piel:
 - (a) Aumenta con el estrés.
 - (b) Se controla cuando el pH de la sangre desciende.
 - (c) Aumenta con la temperatura ambiental.
 - (d) Aumenta en caso de deficiencia de ADH en el torrente sanguíneo.
4. ¿Cuál de los siguientes enunciados acerca de las venas no es cierto?
 - (a) Las válvulas venosas se forman a partir de la túnica media.
 - (b) El volumen de sangre en las venas es mayor que en las arterias en cualquier momento dado.
 - (c) Las venas tienen capas musculares más delgadas que las arterias.
 - (d) Las venas llevan sangre desde el corazón.
5. El intercambio de nutrimentos y gases ocurre en:
 - (a) Las arterias.
 - (b) Los capilares.
 - (c) Las venas.
 - (d) Las arteriolas.
6. Todas las arterias transportan sangre oxigenada, excepto:
 - (a) La arteria pulmonar.
 - (b) La arteria braquial.
 - (c) La arteria cefálica.
 - (d) La arteria cerebral.
7. El lapso de vida aproximado de un eritrocito es de:
 - (a) 120 días.
 - (b) 90 días.
 - (c) 30 días.
 - (d) 1 año.
8. Los capilares linfáticos son:
 - (a) No permeables.
 - (b) Más permeables que los capilares sanguíneos.
 - (c) Menos permeables que los capilares sanguíneos.
 - (d) Igual de permeables.
9. La linfa sale de los ganglios linfáticos via:
 - (a) El vaso linfático aferente.
 - (b) El vaso linfático eferente.
 - (c) La vena cava inferior.
 - (d) La vena cava superior.



Capítulo 1

Principios científicos básicos de fisiología

Peter S. Vickers

Ponga a prueba sus conocimientos previos

- ¿Cuál es la diferencia entre anatomía y fisiología?
- ¿Por qué el proceso de la ósmosis es esencial para el funcionamiento del cuerpo humano?
- ¿Qué es un electrólito?
- ¿Cuál es el proceso de la respiración externa en el ser humano?
- Defina la homeostasis

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir los niveles de organización de un organismo
- Describir las características de la vida
- Comprender y explicar un átomo y su relación con las moléculas
- Comprender y describir las maneras en que los átomos pueden unirse entre sí
- Describir algunos elementos y sus características
- Entender cómo se leen las ecuaciones químicas
- Describir la escala del pH y su importancia para la vida
- Enumerar las diferencias entre sustancias orgánicas e inorgánicas
- Enumerar las diversas maneras en que se miden la materia y sus propiedades

Introducción

Aprender fisiología humana es muy parecido a aprender otra lengua: deben aprenderse el vocabulario, gramática y conceptos nuevos. En este primer capítulo se presenta ese nuevo lenguaje, de modo que el lector pueda utilizar su conocimiento para comprender la fisiología de las diferentes partes del organismo que se analizan en todos los demás capítulos del libro.

Antes que todo, hay dos nuevos términos que aprender y entender:

- **Anatomía.** Se refiere al estudio de las estructuras del cuerpo humano.
- **Fisiología.** Se refiere al estudio de las diferentes funciones del que lleva a cabo el cuerpo humano

Sin embargo, la estructura siempre se relaciona con la función, porque la estructura determina la función, que a su vez establece cómo se organiza el cuerpo u órgano, y así sucesivamente; es decir, las dos son interdependientes.

Niveles de organización

El cuerpo humano es un organismo muy complejo con muchos componentes, comenzando con el más pequeño de ellos –el átomo– y terminando con el organismo en sí (figura 1-1). Partiendo del componente más pequeño y avanzando hasta el más grande, el cuerpo se organiza del siguiente modo:

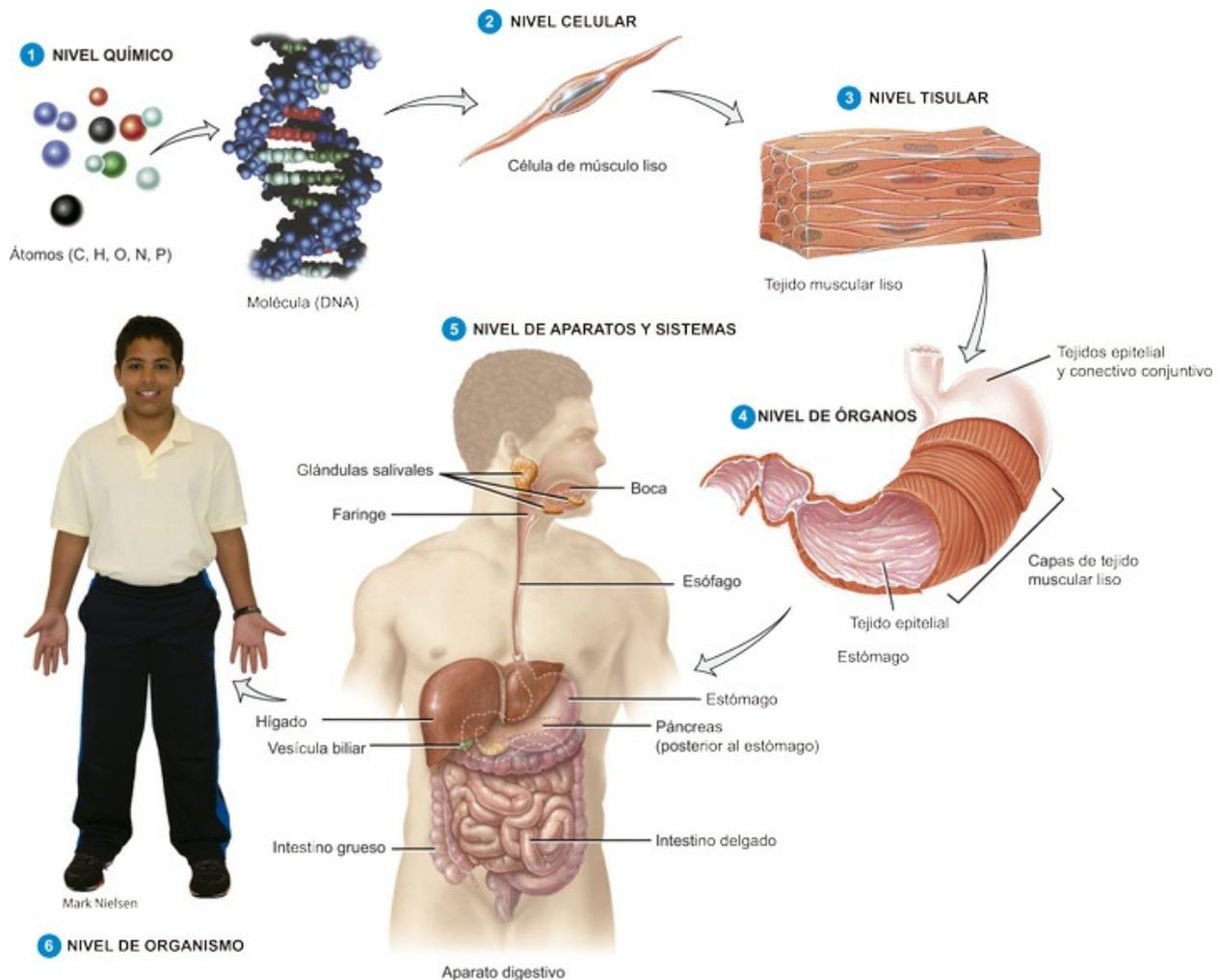


Figura 1-1. Niveles de organización del cuerpo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Átomos: por ejemplo hidrógeno, carbono.
- Moléculas: por ejemplo, agua, glucosa.
- Macromoléculas (moléculas grandes): por ejemplo, proteína, DNA.
- Organelos (dentro de la célula): por ejemplo, núcleo, mitocondria.
- Tejidos: por ejemplo, hueso, músculo.
- Órganos: por ejemplo, corazón, riñón.
- Aparatos y sistemas: por ejemplo, sistema óseo, sistema circulatorio, aparato respiratorio, sistema urinario.
- Organismo: por ejemplo, ratón, perro, elefante, ser humano.

Características de la vida

Todos los seres vivos tienen determinadas características en común. Aunque estas características pueden diferir de un organismo a otro, todas son importantes para el mantenimiento de la vida. Dichas características son:

- **Reproducción:** tanto a nivel microscópico como macroscópico, la reproducción es un proceso esencial. A nivel macroscópico se refiere a la reproducción del organismo, y al microscópico se trata de la generación de nuevas células para mantener la eficiencia y crecimiento del organismo.
- **Crecimiento:** esencial para el progreso y desarrollo del organismo.
- **Movimiento:** los cambios de posición y desplazamiento son partes del movimiento. Esta característica es esencial a fin de que el organismo pueda nutrirse, tener una pareja reproductiva, refugio, etcétera.
- **Respiración:** la respiración externa es importante para el suministro de oxígeno y la eliminación del dióxido de carbono (o el suministro de dióxido de carbono y la eliminación de oxígeno en el caso de una planta), mientras que la respiración interna libera energía de los alimentos.
- **Reactividad:** los organismos necesitan ser capaces de reaccionar a los cambios en el ambiente, o a otros estímulos como la presencia de un depredador.
- **Digestión:** es la degradación de los componentes de los alimentos, de modo que el organismo pueda acceder a la energía necesaria para sus funciones vitales.
- **Absorción:** es el desplazamiento de sustancias, como los alimentos digeridos, a través de membranas y hacia líquidos corporales, como la sangre y la linfa, que entonces pueden llevarlas a partes del organismo que las requieren.
- **Circulación:** movimiento de sustancias a través del organismo en los líquidos corporales.
- **Asimilación:** modificación de las sustancias absorbidas en otras distintas, que entonces pueden utilizarse en los tejidos del organismo.
- **Excreción:** expulsión de sustancias de desecho fuera del cuerpo, porque éste ya las ha utilizado y ya no las necesita o porque son nocivas.

Requerimientos corporales

Hay cinco requerimientos esenciales de todos los organismos, incluidos los seres humanos:

1. Agua

- El agua es la sustancia más abundante en el organismo. Al nacer, hasta 78% del cuerpo de un bebé es agua, y al año de edad ha disminuido a 65%. En los varones adultos la cifra desciende a 60%, y en las mujeres adultas, a 55% (las mujeres tienen más grasa que los varones como porcentaje del peso corporal, lo que explica la diferencia, aunque un varón adulto obeso también tendría menor porcentaje que uno delgado).
- Se requiere agua para los diversos procesos metabólicos del organismo.
- El agua es necesaria para transportar sustancias esenciales por el organismo.
- El agua ayuda a regular la temperatura corporal: un ser humano funciona en un intervalo de temperatura muy estrecho, y es incapaz de soportar grandes cambios térmicos en su cuerpo. Si la temperatura corporal excede ese intervalo –hacia abajo o arriba– ocurre la muerte. La sudoración es un ejemplo de cómo el agua ayuda a reducir la temperatura excesiva: enfría la superficie corporal al evaporarse (enfriamiento evaporativo).

2. Alimento

- El alimento aporta la energía necesaria para que el organismo cubra todas las características esenciales mencionadas antes.
- También aporta las materias primas para esas características, en particular el crecimiento.

3. Oxígeno

- El oxígeno constituye 20% del aire y se usa en la liberación de la energía de los nutrientes asimilados.

4. Calor

- El calor es una forma de energía que en parte controla la velocidad con que ocurren las reacciones metabólicas.

5. Presión

- Hay dos tipos de presión que un organismo requiere:
 - Presión atmosférica, importante en el proceso de la respiración.
 - Presión hidrostática, que mantiene la sangre fluyendo por el cuerpo.

Átomos

Es momento de considerar el elemento constitutivo más pequeño del organismo (y, de hecho, de toda la materia), el átomo. La palabra “átomo” proviene del griego y significa “indivisible”. Sin embargo, hoy se sabe que los átomos constan de electrones, neutrones y protones.

El átomo, como se observa en la figura 1-2, está formado por partículas más pequeñas, que son:

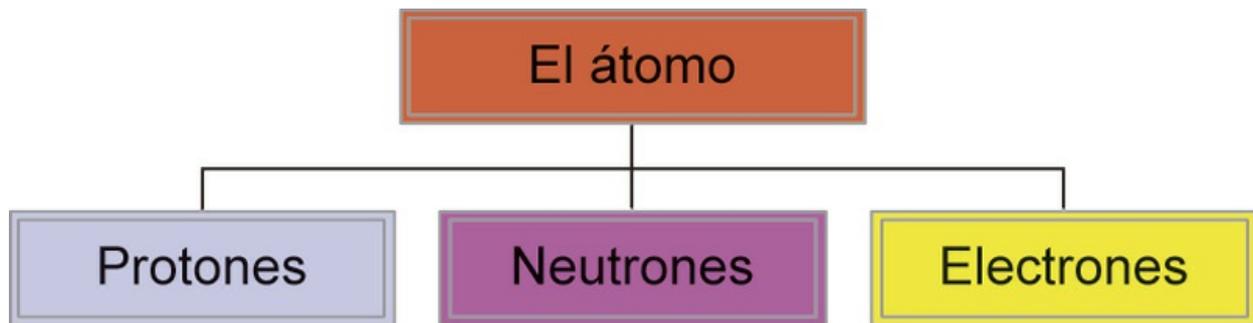


Figura 1-2. El átomo.

- Protones.
- Neutrones.
- Electrones.

Los protones tienen carga eléctrica positiva y los electrones tienen carga eléctrica negativa, mientras que el neutrón, como su nombre indica, es neutro (carece de carga eléctrica).

En la figura 1-3 se aprecia que los electrones se mueven con rapidez alrededor del núcleo del átomo, que en sí está formado por los protones y neutrones. Los electrones de un átomo son atraídos hacia el núcleo por una fuerza electromagnética.

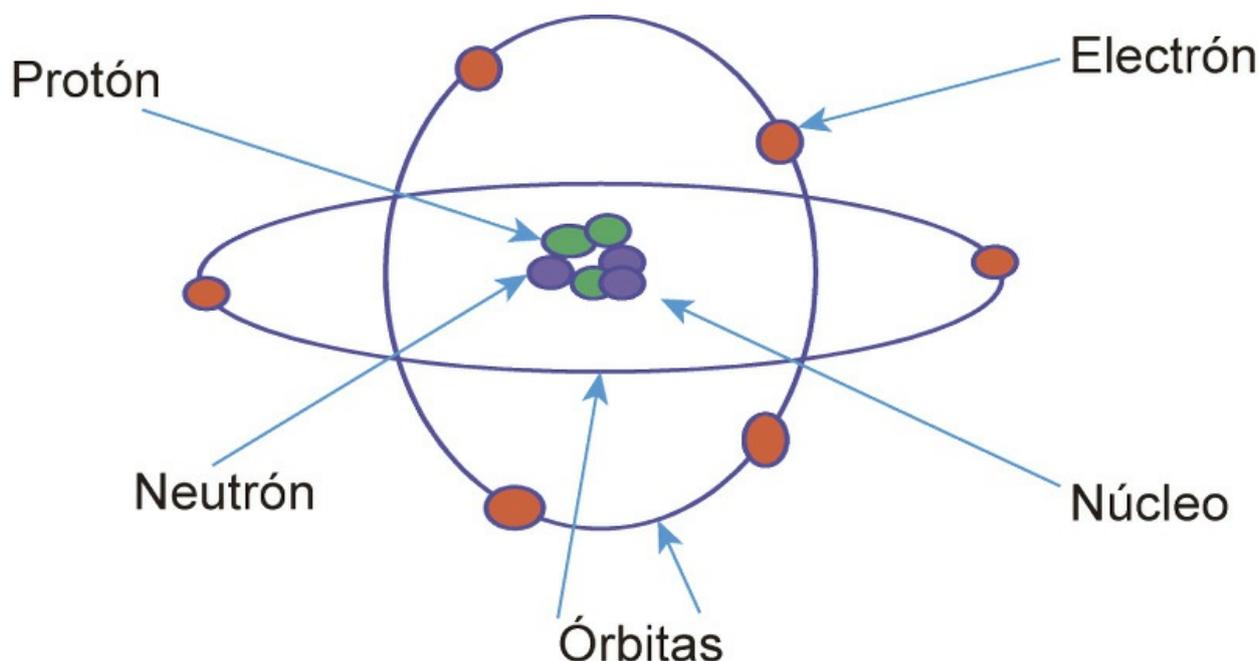


Figura 1-3. Representación esquemática de un átomo.

Si bien hay muchos tipos distintos de átomos, éstos siempre tienen la misma composición: **órbitas**, **electrones**, **neutrones** y **protones** (sólo varía el número de cada uno de éstos), y las mismas características, mientras que los átomos de un mismo elemento (p. ej. hierro, carbono, sodio) tienen las mismas cantidades de electrones, protones y neutrones. Por ejemplo:

- El núcleo siempre se ubica en el centro.
- La capa (órbita) interna siempre tiene un máximo de dos electrones.
- La segunda capa tiene un máximo de ocho electrones.
- La tercera capa tiene un máximo de 18 electrones.
- La capa de valencia es importante. Es la capa más externa de un átomo y determina el comportamiento de éste en las reacciones químicas con otros átomos. Puede tener un máximo de ocho electrones (lo que se conoce como la regla del octeto). Estos **electrones de valencia** participan en la formación de **enlaces químicos**. Véase la sección Enlaces covalentes.

Número atómico

A cada átomo le corresponde un número atómico, que es igual al número de protones que posee. Así, el número atómico de un átomo de carbono, que tiene seis protones, es 6, mientras que el átomo de sodio tiene 11 protones y por tanto su número atómico es 11, y un átomo de cloro tiene 17 protones, de modo que tiene número atómico de 17.

Átomo de carbono

El carbono, un átomo muy importante para las formas de vida debido a que todos somos entidades basadas en carbono, se muestra enseguida para ilustrar la constitución de un átomo real.

Como se observa en la figura 1-4, el carbono tiene seis electrones que orbitan el núcleo, el cual está formado por seis protones y seis neutrones. Por tanto, el carbono tiene el mismo número de electrones, protones y neutrones. Esto es inusual, porque si bien es normal tener el mismo número de electrones y protones, por lo común el número de neutrones difiere del de electrones y protones en un átomo.

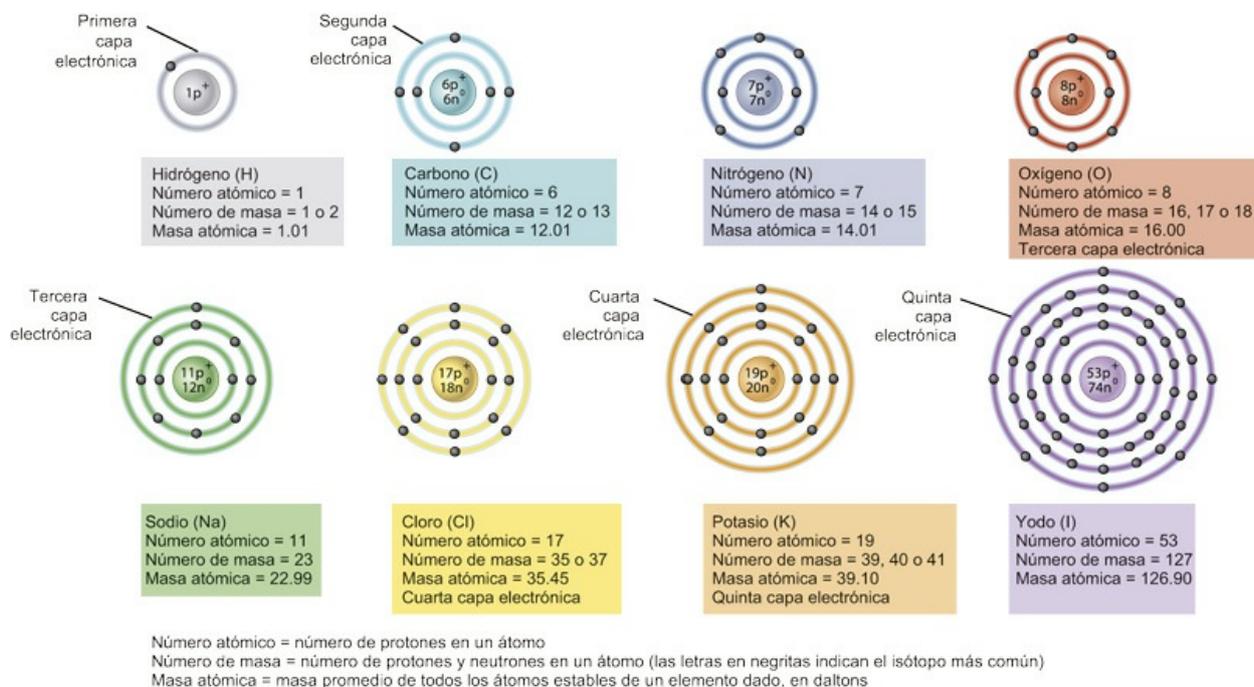


Figura 1-4. El átomo de carbono. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014).
 Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Un principio básico del átomo es que el número de electrones es igual al número de protones en cada átomo, y todo se debe a la electricidad. Como ya se mencionó, los protones tienen carga eléctrica positiva, los electrones tienen carga eléctrica negativa, y los neutrones carecen de carga eléctrica (es decir, son neutros), y todos los átomos tienden a permanecer eléctricamente estables (eléctricamente neutros). Así, dado que los neutrones no tienen carga eléctrica, es importante que haya la misma cantidad de protones y electrones para mantener la estabilidad o neutralidad.

En consecuencia, dado que el átomo de carbono tiene seis electrones, seis protones y seis neutrones, las cargas eléctricas de los electrones y protones se cancelan entre sí. El resultado es que, globalmente, el átomo tiene carga neutra y se dice que se encuentra en un estado de equilibrio.

Moléculas

Esta necesidad de que el átomo se encuentre en equilibrio es la fuerza que impulsa la combinación de átomos para generar moléculas (el siguiente nivel en la formación de los seres vivos). Una molécula es la partícula más pequeña en que un elemento o compuesto puede tener una existencia independiente. Contiene átomos que se han unido entre sí. Por ejemplo, el cloruro de sodio

(NaCl) es una molécula que contiene un átomo de sodio (llamado *natrium* en latín, de ahí su símbolo, Na) unido a un átomo de cloro (símbolo Cl). De modo similar, la molécula H₂O está formada por dos átomos de hidrógeno (H) unidos a un átomo de oxígeno (O). El H₂O es mejor conocido como agua.

Enlaces químicos

Un enlace químico es la unión de átomos entre sí en virtud de que éstos adquieren un estado de menor energía al perder, ganar o compartir electrones de su capa más externa. Un enlace químico es la fuerza “de atracción” que mantiene a los átomos unidos. Esta interacción da por resultado átomos o iones en un estado de menor energía que los átomos originales.

La formación de enlaces químicos también causa la liberación de energía que antes se encontraba en los átomos, como lo muestra la fórmula



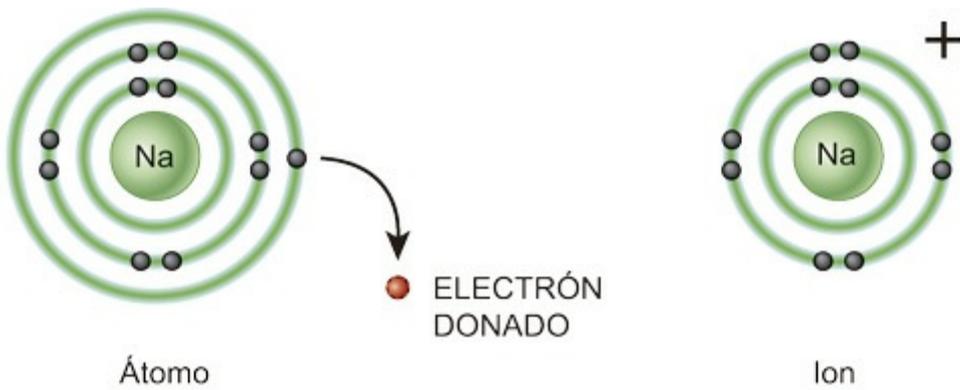
La capacidad de combinación de los átomos se conoce como **valencia**. Dado que la única capa que es importante para el enlace es la más externa, se le denomina capa de valencia (Marieb, 2014).

Hay varios tipos de enlaces químicos entre átomos, a saber:

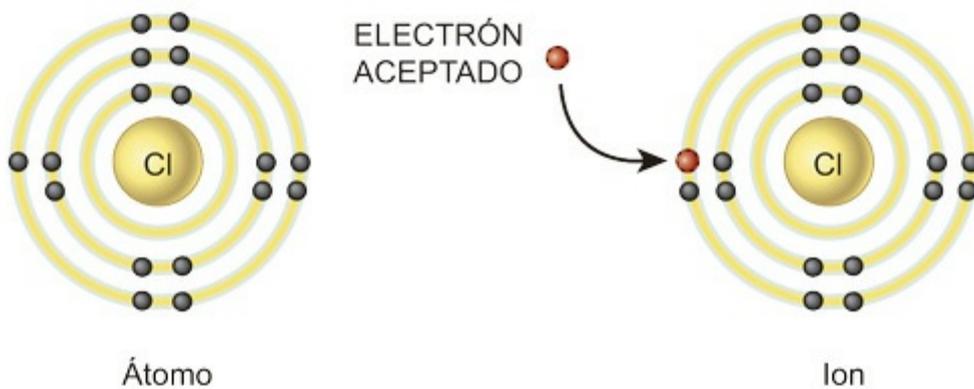
- Enlaces iónicos.
- Enlaces covalentes.
- Enlaces polares y de hidrógeno.

Enlaces iónicos

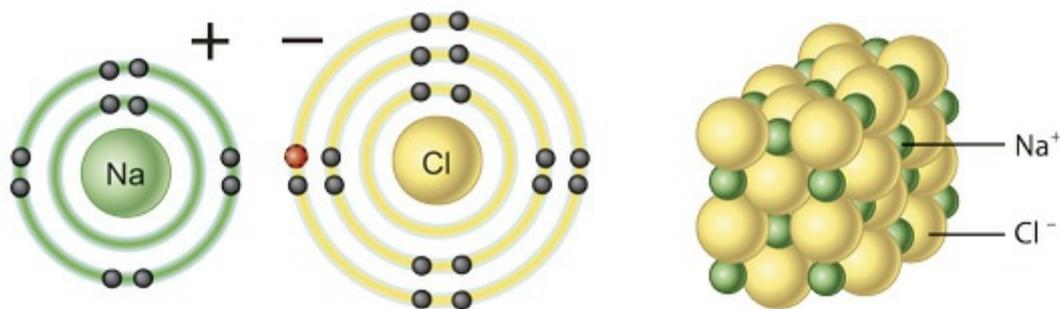
Los átomos siempre prefieren estar en un estado de equilibrio eléctrico. Sin embargo, en ocasiones un átomo que tiene estructura estable pierde un electrón, en cuyo caso se hace inestable. Por ejemplo, el átomo de sodio (Na) puede perder un electrón, y en este caso para volver a ser estable debe unirse a un átomo capaz de aceptar un electrón, por ejemplo, cloro (Cl). En consecuencia, cuando se mezclan átomos de sodio y de cloro, un electrón de cada átomo de sodio pasará a un átomo de cloro, como se ilustra en la figura 1-5, formando de este modo una molécula de cloruro de sodio (NaCl), también llamado sal común. Esto se conoce como **enlace iónico**, porque intervienen **iones**.



(a) Sodio: 1 electrón de valencia



(b) Cloro: 7 electrones de valencia



(c) Enlace iónico en el cloruro de sodio (NaCl)

(d) Empaque de iones en un cristal de cloruro de sodio

Figura 1-5. (a–d) Enlace iónico de un átomo de sodio y uno de cloro para formar una molécula de cloruro de sodio. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Iones

Un ion es un átomo o molécula en que el número total de electrones no es igual al número total de protones, de modo que el átomo o molécula tiene carga eléctrica neta, positiva o negativa. Ya no se encuentra en un estado eléctricamente neutro. En el ejemplo anterior, sodio y cloro tienen

respectivamente carga eléctrica positiva y negativa a causa del intercambio de electrones, de modo que ahora son iones, y se les representa con un signo positivo o negativo, como en los ejemplos que siguen:

- Na^+ (sodio, positivo)
- Cl^- (cloro, negativo).

Sin embargo, la molécula de cloruro de sodio resultante puede representarse como NaCl porque la carga positiva (+) y la carga negativa (-) resultantes se atraen entre sí y se cancelan, dejando una molécula con carga eléctrica neutra.

- Los iones con carga eléctrica positiva se conocen como **cationes**.
- Los iones con carga eléctrica negativa se conocen como **aniones**.

En resumen, un enlace iónico es aquél que se forma entre átomos con carga positiva y con carga negativa. Estos átomos con carga o iones se atraen y estabilizan entre sí, pero no se transfieren ni comparten electrones mutuamente. En consecuencia, un enlace iónico puede verse más como una interacción entre iones, que como un enlace propiamente dicho (Fisher y Arnold, 2012).

Enlaces covalentes

A diferencia del enlace iónico, el enlace covalente no implica la compartición de electrones de valencia entre átomos. Así, ninguno de los átomos que intervienen en este tipo de enlace realmente pierde o gana electrones. Más bien, los átomos comparten electrones, de modo que cada átomo tendrá completa su capa de valencia (la más externa), al menos parte del tiempo (Marieb, 2014).

Se forma un enlace covalente cuando dos átomos están cerca uno del otro, de modo que ocurre superposición de los electrones de la capa más externa. Después de esta superposición, cada capa más externa es atraída hacia el núcleo del otro átomo (figura 1-6). Este tipo de enlace no requiere cargas eléctricas positiva y negativa como el enlace iónico.

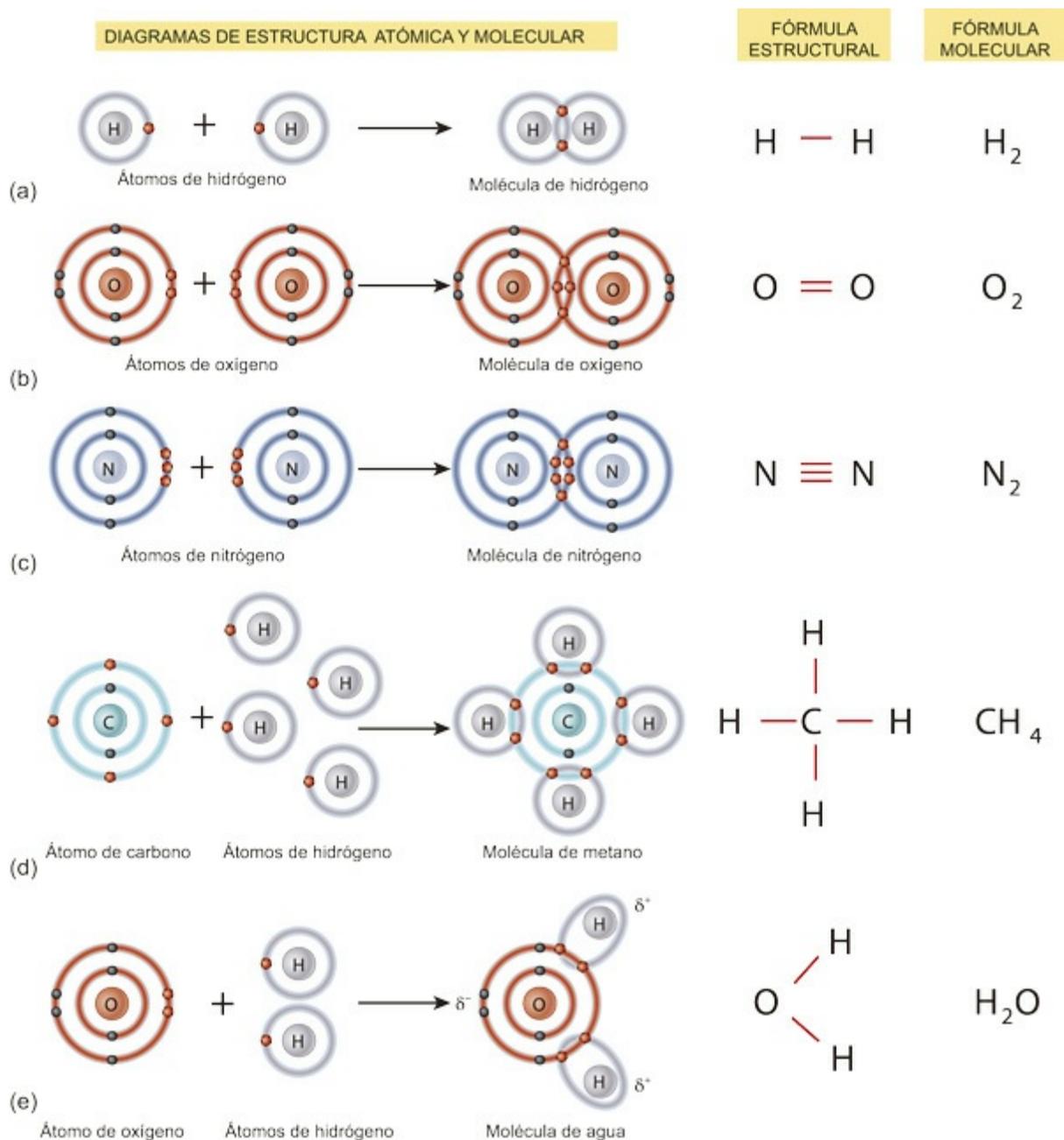


Figura 1-6. (a–e) Enlace covalente. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Hay tres tipos de enlace covalente, según el número de electrones que se comparten entre los átomos enlazados:

1. Enlaces covalentes sencillos (se comparte un electrón de la última capa de cada átomo, como en la molécula de hidrógeno),
2. Enlaces covalentes dobles (se comparten dos electrones de cada átomo, como en la molécula de oxígeno),
3. Enlaces covalentes triples (se comparten tres electrones de cada átomo, como en la molécula de nitrógeno).

Enlaces polares

En ocasiones, las moléculas no comparten los electrones de manera equitativa, de modo que hay separación de las cargas eléctricas positiva y negativa. Esto se denomina **polaridad**, y debido a esta separación de la carga eléctrica hay un enlace débil adicional. Sin embargo, debe señalarse que este enlace *no* se forma entre **átomos**, sino entre las **moléculas** en sí. Igual que el enlace iónico, este enlace polar se forma debido a la regla de que **las cargas eléctricas opuestas se atraen**. Así, las pequeñas cargas opuestas de diferentes moléculas polares pueden atraerse entre sí. El enlace polar sólo ocurre con moléculas que contienen hidrógeno, por lo que también se le conoce como **enlace de hidrógeno** o puente de hidrógeno (figura 1-7).

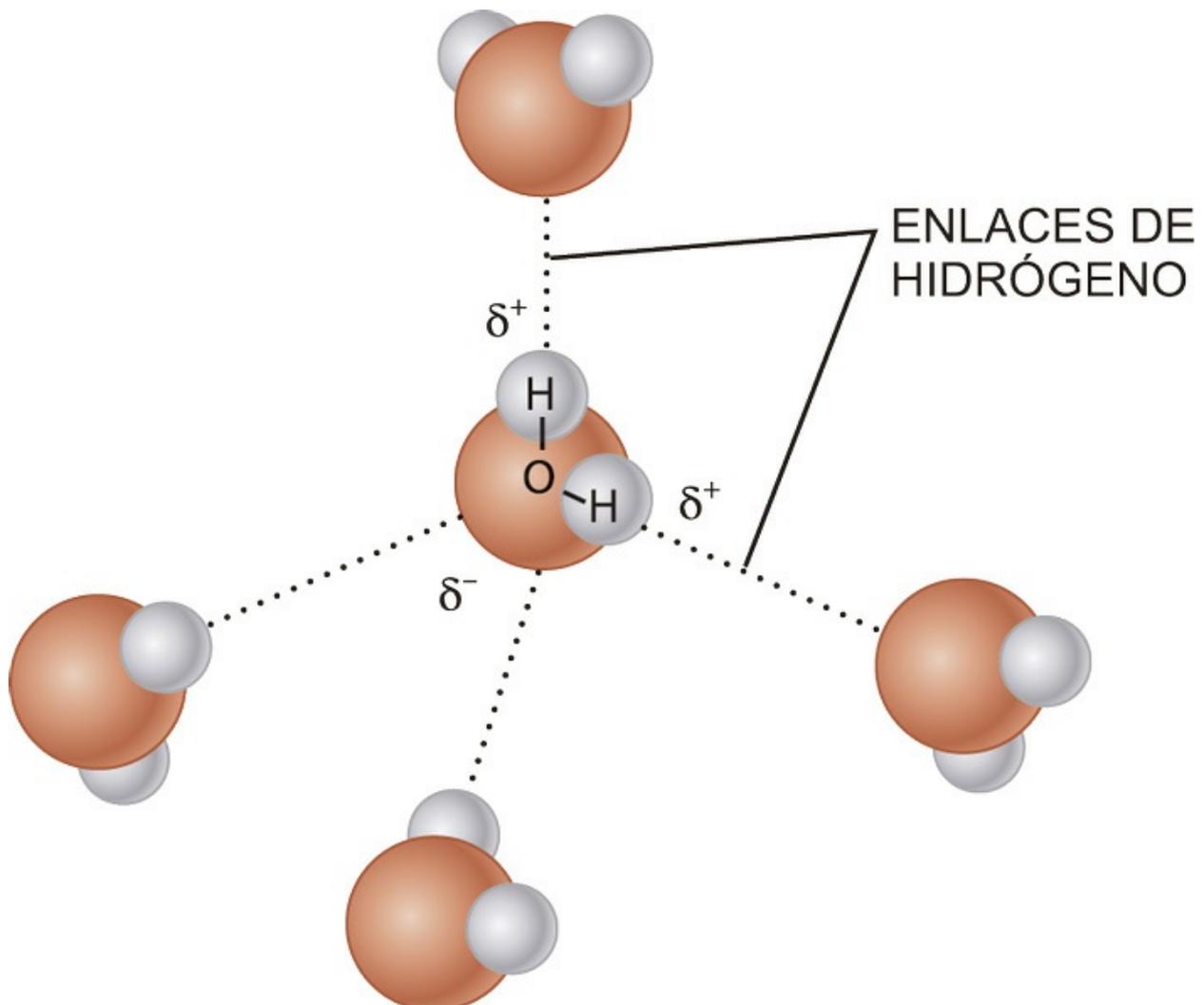


Figura 1-7. Enlaces de hidrógeno y agua. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El hecho de que las moléculas polares puedan unirse entre sí (aunque sólo débilmente) reviste importancia para determinar la estructura y función de sustancias con actividad fisiológica, como:

- Enzimas.

- Anticuerpos.
- Moléculas genéticas.
- Fármacos (medicamentos).

Electrólitos

Una consecuencia más de la formación de enlaces es la producción de electrólitos. Los electrólitos son sustancias que se desplazan hacia electrodos con cargas opuestas en líquidos, y se forman del siguiente modo: si moléculas unidas por enlaces iónicos (véase la sección Enlaces iónicos) se disuelven en agua dentro de las células corporales, experimentan un proceso en el cual los iones se separan; es decir, se disocian. Estos iones se conocen como electrólitos.

Sin embargo, esto no se aplica a moléculas formadas por otros tipos de enlaces (p. ej. covalentes). Las moléculas producidas por otros tipos de enlaces se denominan no electrólitos, y entre ellas se incluye la mayoría de los compuestos orgánicos, como la glucosa, urea y creatinina.

Los electrólitos revisten especial importancia dentro del organismo por tres razones:

1. Muchos son minerales esenciales.
2. Controlan el proceso de la ósmosis.
3. Ayudan a mantener el equilibrio ácido-base, necesario para la actividad celular normal.

Elementos

Un elemento es una sustancia química pura que no puede separarse en nada más simple por medios químicos. Cada elemento consta de un solo tipo de átomo, que se distingue por su número atómico (el cual a su vez es determinado por el número de protones en el núcleo; véase antes). Si el número de protones en el núcleo de un átomo cambia, entonces se tiene un nuevo elemento distinto del original. El caso es diferente para los electrones: su número puede cambiar, pero el átomo es básicamente el mismo, sólo que ahora es un **ion**. Algunos ejemplos comunes de elementos que se encuentran en el cuerpo humano son:

- Hierro
- Hidrógeno
- Carbono
- Nitrógeno
- Oxígeno
- Calcio
- Potasio
- Sodio
- Cloro
- Azufre
- Fósforo.

Hasta febrero de 2015, se había confirmado un total de 118 elementos; sin embargo, sólo los primeros 98 se sabe que existen de modo natural en el planeta. Estos elementos suelen representarse en la **tabla periódica**. Toda la materia química consta de estos elementos, aunque de tiempo en tiempo se descubren nuevos elementos con número atómico más elevado, si bien sólo como resultado de reacciones nucleares artificiales, por lo que no se encuentran en el organismo.

Hay tres clases de elementos:

1. Metales (p. ej., hierro, símbolo Fe, del latín *ferrum*),
2. No metales (p. ej., oxígeno, símbolo O),
3. Metaloides (p. ej., arsénico, símbolo As).

Los elementos de estas tres clases tienen características que los definen:

| Metales | No metales | Metaloides |
|---------------------------------------|---|--|
| Conducen calor y electricidad | Son conductores deficientes de calor y electricidad | No son metales ni no metales; a veces se les llama semimetales |
| Donan electrones (a otros átomos para | | Tienden a presentar propiedades físicas de metales y propiedades químicas de metales y no metales, según |

| | | |
|--|--|--|
| formar moléculas) A temperaturas normales todos son sólidos, con la excepción del mercurio (símbolo Hg) | Aceptan electrones (de átomos donadores) Pueden existir en estado sólido, líquido o gaseoso | su estado de oxidación. Sin embargo, no son importantes en bioquímica, por lo que no se consideran en este libro |
|--|--|--|

Por lo común los metales se unen con no metales (es decir, donadores de electrones con aceptores de electrones). Los que siguen son algunos ejemplos de elementos importantes para el organismo que son metales y no metales:

| Metales | No metales |
|-------------|---------------|
| Calcio (Ca) | Cloro (Cl) |
| Potasio (K) | Nitrógeno (N) |
| Sodio (Na) | Oxígeno (O) |
| | Carbono (C) |
| | Azufre (S) |
| | Fósforo (P) |

Además del cloruro de sodio, NaCl (que se presentó antes en este capítulo), otros compuestos importantes que los profesionales de la salud deben conocer son:

- Bicarbonato de sodio, NaHCO₃.
- Cloruro de potasio, KCl.

El hidrógeno (H) es un elemento interesante, entre otras cosas porque en realidad tiene propiedades tanto de metal como de no metal. Debido a ello, el agua (H₂O) es un ejemplo de sustancia líquida aunque está formada por dos gases, oxígeno (un átomo) e hidrógeno (dos átomos).

Propiedades de los elementos

Todas las sustancias tienen determinadas propiedades individuales, en particular en lo que se refiere al modo en que reaccionan (es decir, al modo en que se comportan):

- *Propiedades físicas*: incluyen características como color, densidad, punto de ebullición, punto de fusión, solubilidad, dureza, etc.
- *Propiedades químicas*: por ejemplo si una sustancia es un metal o un no metal (o incluso un metaloide), si reacciona con una sustancia ácida o una alcalina, o si se disuelve en agua o en alcohol.

Compuestos

Un compuesto es una sustancia pura constituida por dos o más elementos unidos químicamente. Las propiedades de un compuesto son por completo distintas de las propiedades individuales de los elementos que lo constituyen. Además, los compuestos pueden separarse por medios químicos, no así los elementos. Son ejemplos de compuestos:

- Agua (H_2O),
- Sal (NaCl),
- Dióxido de carbono (CO_2).

Debe señalarse que cuando el símbolo de un átomo tiene un subíndice, éste indica que en la molécula hay este número de unidades de ese átomo en particular. Así, el agua (H_2O) está formada por dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, mientras que el dióxido de carbono (CO_2) consta de un átomo de carbono y dos de oxígeno. Esto volverá a comentarse más adelante en este capítulo.

Ecuaciones y reacciones químicas

Siempre que se mencionan ecuaciones químicas, la mayoría de las personas no dedicadas a la química o a la ciencia de inmediato entran en pánico y cambian de página. Sin embargo, el lector no debe preocuparse, porque si es capaz de realizar sumas simples, entonces puede trabajar con ecuaciones químicas. Todo el mundo ha resuelto ecuaciones matemáticas sencillas, como

- $1 + 1 = 2$
- $2 + 2 = 4$
- $4 + 4 = 8$
- $1 + 1 + 2 + 2 + 2 = 8$
- $1 + 1 + 2 + 2 + 2 = 4 + 3 + 1$

etcétera.

Las ecuaciones químicas se rigen por los mismos principios básicos. Cuando ocurre una reacción química (la cual se representa con una ecuación), se forma una nueva sustancia, denominada **producto** (como en una ecuación matemática). Sin embargo, en una ecuación química, esta nueva sustancia (producto) tendrá diferentes propiedades que las sustancias individuales implicadas en la reacción (llamadas reactivos).

Como se expuso antes, cuando se combinan átomos se forman elementos o moléculas, y se usan símbolos para describir este proceso. Esta aproximación a las ecuaciones químicas iniciará con un ejemplo muy simple, como la producción de agua (figura 1-8).

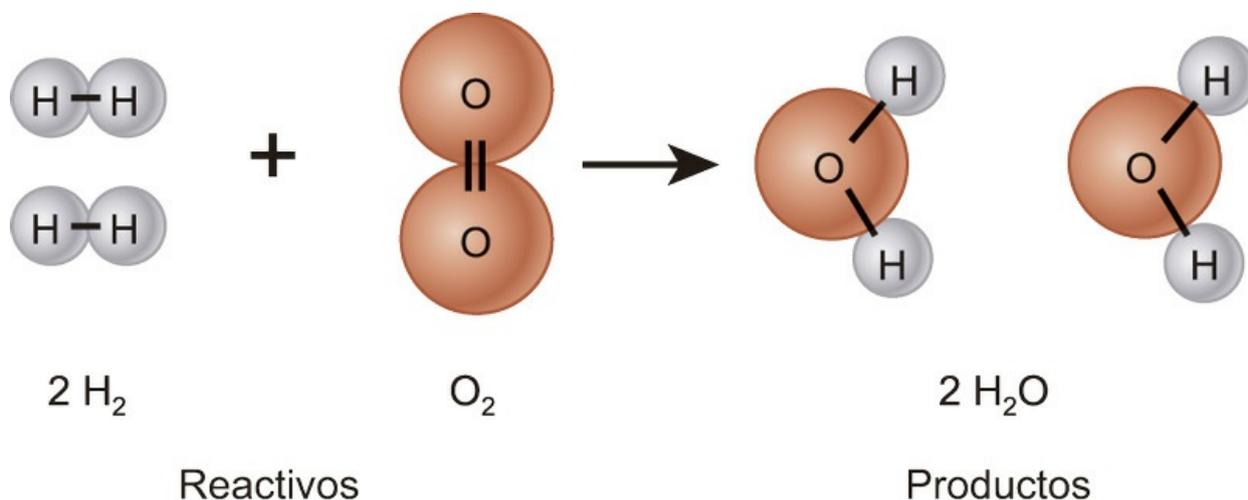
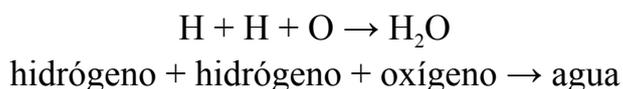


Figura 1-8. Representación gráfica de la ecuación química (reacción) que produce agua. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Ya se mencionó que dos átomos de hidrógeno (H) y un átomo de oxígeno (O) forman una molécula de agua (H_2O). La ecuación química para este proceso es



En esta ecuación (de una reacción química) hay dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno del lado izquierdo, y hay dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno en el lado derecho. Sin embargo, debido a la reacción química, los mismos tres átomos de gas de la izquierda se encuentran en la derecha en la forma de agua, un líquido.

Así, una ecuación química es sólo una manera abreviada de describir una reacción química. Nótese que el signo de igualdad de una ecuación matemática es sustituido por una flecha, que significa “produce” en una ecuación química. Básicamente, todas las ecuaciones químicas son así de sencillas. Puede haber más reactivos y productos, pero en las ecuaciones químicas están implicados principios básicos similares a los que rigen en las ecuaciones matemáticas.

Un principio elemental muy importante es que cuando ocurren reacciones químicas, la cantidad de cada sustancia después de que la reacción ha ocurrido debe ser la misma que estaba presente antes de la reacción. Los dos miembros de una reacción química (y por tanto de una ecuación química) –los reactivos y los productos– deben balancearse. En otras palabras, no se pierden átomos o moléculas en una reacción química, sólo se organizan de modo diferente. Un aspecto más que debe tenerse presente acerca de las reacciones químicas es que si bien el número de átomos es el mismo antes y después de la reacción, a veces se produce algo más: calor. Éstas son las llamadas reacciones exotérmicas, que liberan energía en forma de calor.

En una ecuación química, los reactivos y productos pueden separarse mediante una sola flecha (\rightarrow) como en el ejemplo previo del H_2O . Esto indica que la reacción ocurre en un solo sentido, el señalado por la flecha.

En ocasiones los reactivos y productos se separan con dos flechas, una arriba de la otra y con sentidos opuestos (\rightleftharpoons). Esto indica que la reacción química puede revertirse.

Si los reactivos y productos están separados por un signo de igual, = (que se usa en matemáticas para indicar un estado de igualdad), en lugar de una flecha sencilla o doble, esto indica que existe un estado de equilibrio químico.

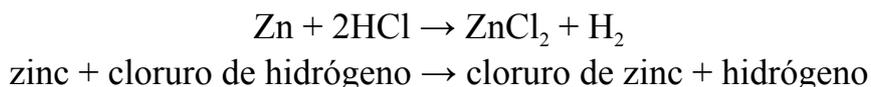
Otro principio importante que debe cumplirse acerca de las reacciones y ecuaciones químicas es que una ecuación química debe ser consistente. Los elementos no pueden sustituirse por otros por medios químicos.

Si están implicadas cargas eléctricas (como ocurre cuando intervienen iones), la carga neta a ambos lados de la ecuación debe ser igual; es decir, la ecuación debe estar balanceada.

Así, para resumir, todas las ecuaciones deben balancearse (esto es, el número de átomos de cada elemento y las cargas eléctricas en los reactivos deben ser iguales al número de átomos de cada elemento y las cargas eléctricas en los productos). Sin embargo, para balancear una ecuación química (y por tanto una reacción) puede ser necesario modificar la cantidad de moléculas.

He aquí una ecuación química más complicada, aunque los principios son los

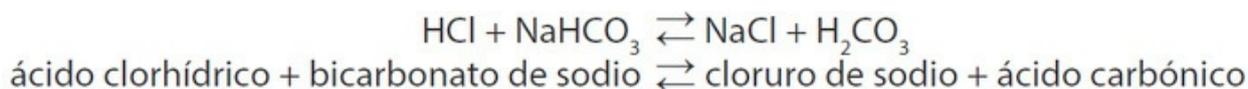
mismos:



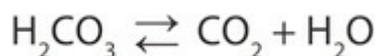
Nota: en este capítulo antes se mencionó el principio de que, cuando se usan los símbolos químicos de las sustancias (elementos, compuestos, moléculas, etc.), si después de un átomo aparece un subíndice, como en H_2O , entonces ese número se aplica al átomo inmediatamente anterior. En otras palabras, el H_2O consiste en dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno. Sin embargo, si un átomo o molécula van precedidos por un número de tamaño normal, entonces éste se aplica a todo lo que le siga hasta que aparezca otro símbolo matemático (p. ej. +, \rightarrow). Así, 2HCl significa que hay dos átomos de hidrógeno y dos átomos de cloro unidos entre sí, formando dos moléculas de cloruro de hidrógeno (o ácido clorhídrico).

En esta ecuación química, dos moléculas de cloruro de hidrógeno (en la forma de dos iones cloruro, Cl^- , y dos iones hidrógeno, H^+) junto con un átomo de zinc han cambiado a una molécula de cloruro de zinc (ZnCl_2) y una molécula de hidrógeno (H_2). Por tanto, aunque los dos átomos originales se han combinado de modo distinto en la reacción química, no se ha alterado el balance entre los dos miembros de la ecuación en cuanto a números y tipos de átomos y carga eléctrica.

Con la siguiente ecuación química, aún más complicada, es una buena idea dedicar tiempo y trabajo a dilucidar lo que está sucediendo antes de continuar:



En esta misma reacción, el H_2CO_3 puede descomponerse aún más:



Los reactivos del lado izquierdo se duplican en el derecho (los productos) pero en diferentes combinaciones. Nótese la doble flecha: ¿qué significa?

La presencia de la flecha doble indica que la ecuación es reversible, de modo que los productos se conviertan en los reactivos, y los reactivos en los productos. Nótese también que el bicarbonato de sodio (NaHCO_3) está formado por un átomo de sodio, uno de hidrógeno y uno de carbono y tres átomos de oxígeno, mientras que el ácido carbónico (H_2CO_3) consiste en dos átomos de hidrógeno, un átomo de carbono y tres átomos de oxígeno. Contando el número y tipo de cada átomo a ambos lados se demuestra una vez más que nada se agrega ni se elimina en la reacción: simplemente todo se reordena de modo que se producen elementos que pueden ser usados por el organismo (junto con sustancias de desecho, que se excretan).

Así termina la sección sobre ecuaciones químicas, y como se observa, si el

lector puede realizar aritmética simple, entonces puede entender las ecuaciones químicas y trabajar con ellas (recordando que las ecuaciones son una representación de reacciones químicas que todo el tiempo ocurren dentro del organismo).

Ácidos y bases (pH)

Esta sección puede parecer complicada al principio, pero es importante comprender los valores de pH, así como los conceptos de alcalinidad y acidez, ya que el organismo (y la propia vida) depende de la relación entre acidez y alcalinidad.

- Un **ácido** es cualquier sustancia que dona iones hidrógeno (H^+) a una solución.
- Un **álcali** (también llamado **base soluble**) es cualquier sustancia que dona iones hidroxilo (OH^-) a una solución, o acepta iones H^+ de una solución.

Cuanto más iones OH^- se donen o más iones H^+ se acepten, tanto mayor la alcalinidad de una sustancia; a la inversa, cuanto mayor número de iones H^+ se liberen, tanto más ácida es la solución. Es claro que siempre que las cantidades de iones H^+ y OH^- sean iguales, existe una solución **neutra**.

La ecuación química para la ionización del agua se representa como



En otras palabras, el agua contiene iones hidrógeno e hidroxilo, y en un litro de agua pura, 10^{-14} mol (**moles**) de agua se disocian en iones H^+ y OH^- . Si en un litro hay 10^{-7} mol de iones H^+ y 10^{-7} mol de iones OH^- , entonces están en equilibrio (balanceados) y el agua es neutra (ni ácida ni alcalina).

- Nótese que en química, un **mol** es una unidad de cantidad de sustancia (una unidad de medición de materia), y se define como la masa de sustancia que contiene tantos componentes (átomos, moléculas, etc.) como átomos hay en 12 g de carbono 12 (International Bureau of Weights and Measures, 2006). El concepto químico de mol es un tanto complicado, pero en este capítulo sólo se le utiliza en relación con el equilibrio ácido-base.
- El concepto de 10^{-14} es aritmético y denota un número muy pequeño: $10^{-14} = 0.00000000000001$ de mol.
- En bioquímica, la **disociación** es la separación de una sustancia en dos o más sustancias más simples –p. ej. una molécula en átomos o iones– por la acción de calor o un proceso químico. Este efecto suele ser reversible.

Las propiedades del agua son tales, que la concentración mínima de iones H^+ y iones OH^- es de 10^{-14} mol L^{-1} (moles por litro), mientras que la concentración máxima de iones H^+ y iones OH^- es de 1 mol L^{-1} o 10^0 mol L^{-1} . Así, las propiedades de disociación del agua restringen la concentración de iones H^+ y iones OH^- al intervalo de 10^{-14} a 10^0 mol L^{-1} .

Se ha diseñado una escala de acidez y alcalinidad que utiliza este intervalo de 10^{-14} a 10^0 mol L^{-1} de iones H^+ y OH^- , conocida como **escala de pH** (figuras 1-9 y 1-10). En consecuencia, la adición de iones H^+ al agua pura causa un decremento proporcional de los iones OH^- respecto a la concentración inicial de

$10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$. Así, una concentración de iones H^+ de $10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ da por resultado una concentración de OH^- de $10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$. De este modo, los totales combinados de iones H^+ y OH^- siempre serán de 10^{-14} . La escala de pH representa las potencias de 10 de los iones H^+ desde 10^{-14} hasta 10^0 , pero por conveniencia la escala utiliza números positivos, de modo que va de pH 14 a pH 0.

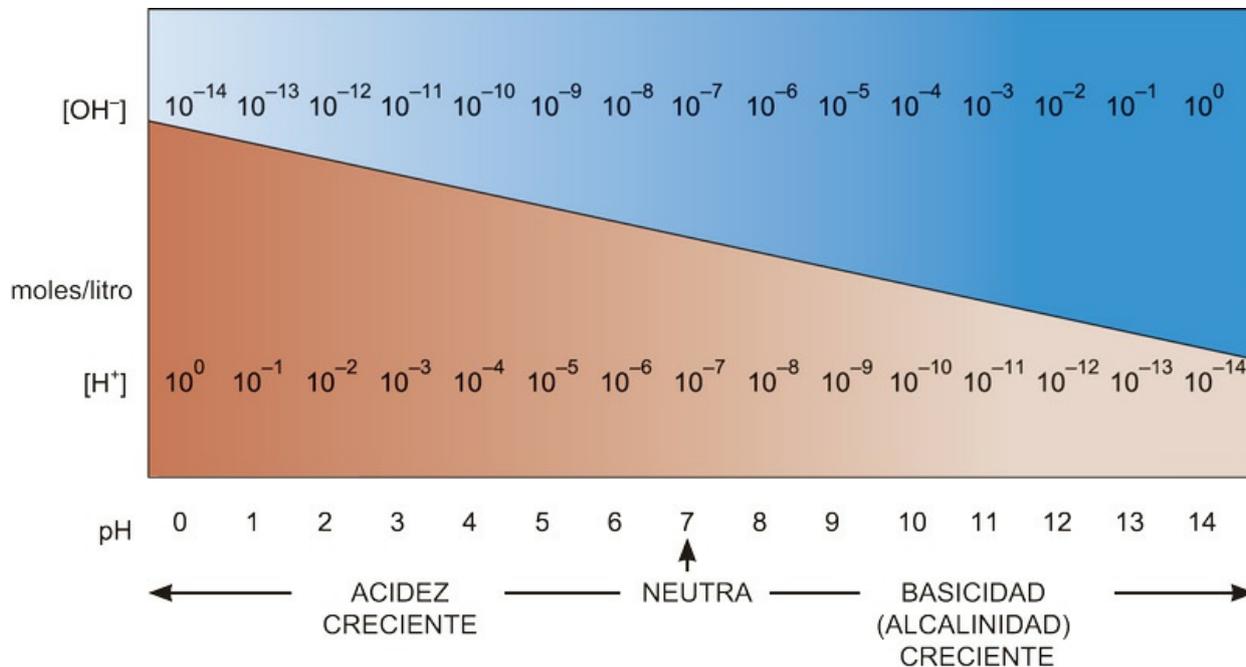


Figura 1-9. Escala de pH. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

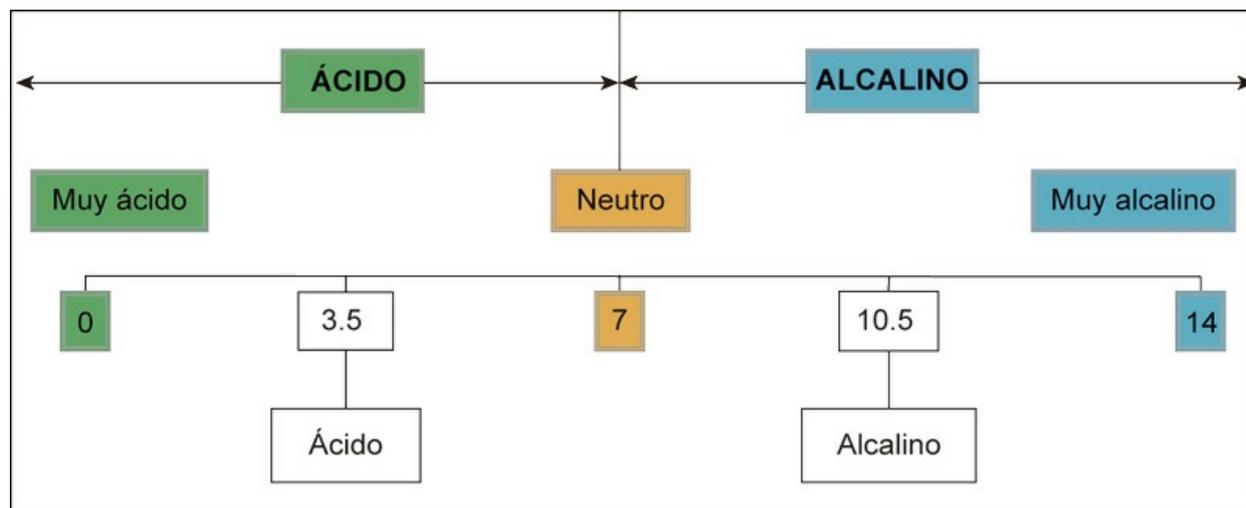


Figura 1-10. Diagrama simplificado de una escala de pH.

A pH 7 existe el mismo número de iones H^+ y de iones OH^- , mientras que las soluciones con pH menor de 7 son **ácidas** y las que tienen pH mayor de 7 son **básicas** (o **alcalinas**). Cuanto más se aleja una solución del pH 7, tanto más ácida o alcalina es.

La escala de pH es logarítmica, de modo que cada unidad de valor de pH por debajo de 7 es 10 veces más ácida que el siguiente valor más alto. Por ejemplo,

una solución con pH 3 es 10 veces más ácida que una solución con pH 4. Además, es 100 veces (10×10) más ácida que una solución con pH 5, y 1000 veces ($10 \times 10 \times 10$) más ácida que una solución con pH 7 (es decir, neutra). Se aplica exactamente lo mismo para valores de pH mayores de 7 (es decir, soluciones alcalinas): cada valor entero es 10 veces más alcalino que el siguiente inferior. Por ejemplo, una solución con pH 10 es 10 veces más alcalina que una con pH 9, 100 veces (10×10) más alcalina que una con pH 8, y así sucesivamente.

Este último concepto de valores logarítmicos y pH es muy importante en ciencias de la salud, como se verá en la siguiente sección, que trata sobre valores de pH y sangre.

Sangre y valores de pH

En la sangre, el intervalo de pH fisiológicamente normal es de 7.35 a 7.45; es decir, la sangre es ligeramente alcalina. Así, para este líquido, un pH menor de 7.35 se considera ácido, mientras que un pH mayor de 7.45 es alcalino, y el que ocurra cualquiera de estas dos cosas puede ser grave para el organismo, como se considera en otros capítulos del libro. La razón es que, dado que la escala es logarítmica, un pequeño cambio de pH indica una alteración muy importante en la concentración de H^+ . Cada cambio de una unidad de pH representa un cambio de 10 veces en la concentración de iones H^+ . Así, una alteración del pH de 7.4 a 7.3 hace que se duplique la concentración de iones H^+ . En otras palabras:

- Un pH 8 representa $10^{-8} \text{ mol L}^{-1}$ o 10 nmol L^{-1} (nanomoles por litro) de H^+ .
 - Un pH 7 representa $10^{-7} \text{ mol L}^{-1}$ o 100 nmol L^{-1} de H^+ .
 - Un pH 6 representa $10^{-6} \text{ mol L}^{-1}$ o $1\,000 \text{ nmol L}^{-1}$ de H^+ .
- etcétera.

Homeostasis

La **homeostasis** es la tendencia del organismo para mantener un ambiente interno estable para lograr cierto tipo de equilibrio. El cuerpo suele ser capaz de establecer un ambiente interno relativamente estable aunque el ambiente externo esté en cambio constante: de frío a calor, de seco a húmedo, etc. El organismo utiliza diversos mecanismos homeostáticos para vigilar y mantener un estado dinámico de equilibrio dentro del cuerpo; esto es, un equilibrio en el cual las condiciones del ambiente interno pueden reaccionar a las condiciones del ambiente externo, cambiando dentro de límites estrechos.

Entre los mecanismos homeostáticos se encuentran:

- **Receptores:** el organismo tiene receptores que captan cambios en los ambientes externo e interno y proporcionan información sobre los cambios al centro de control;
- **Centro de control:** éste determina cuál debe ser un valor en particular (p. ej., valor de pH o presión arterial) y envía un mensaje a los efectores;
- **Efectores:** una vez que han recibido la información del centro de control, los efectores inducen respuestas dentro del ambiente interno del cuerpo que, se espera, producirán los cambios que harán que el ambiente interno vuelva a los valores normales.

Sustancias orgánicas e inorgánicas

Todas las sustancias se clasifican como orgánicas o inorgánicas, según sus moléculas.

- Moléculas **orgánicas**:
 - Contienen carbono (C) e hidrógeno (H),
 - Suelen ser más grandes que las moléculas inorgánicas,
 - Se disuelven en agua y líquidos orgánicos,
 - Como grupo, incluyen carbohidratos (azúcares), proteínas, lípidos (grasas) y ácidos nucleicos (parte del DNA); véase el capítulo 3, Genética.
- Moléculas **inorgánicas**:
 - Como grupo, incluyen al agua (H₂O), dióxido de carbono (CO₂) y sales inorgánicas. Es cierto que H₂O y CO₂ contienen átomos de hidrógeno o carbono, pero en tan pequeñas cantidades que hasta el momento aún se les clasifica como inorgánicas, si bien se discute mucho al respecto en la comunidad científica,
 - Suelen ser más pequeñas que las moléculas orgánicas,
 - Suelen disolverse en agua, o bien reaccionan con agua y liberan iones.

Ejemplos de sustancias orgánicas

Carbohidratos

Los monosacáridos (pertenecientes al grupo de los azúcares o carbohidratos) aportan energía a las células y materiales que permiten la construcción de las diversas estructuras celulares (véase capítulo 2). Contienen carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), y su estructura tiene la fórmula química C₆H₁₂O₆. Hay tres tipos de carbohidratos:

- Monosacáridos: glucosa y fructosa,
- Disacáridos: sacarosa y lactosa,
- Polisacáridos: glucógeno y celulosa.

Grasas (lípidos)

Las grasas (lípidos o triglicéridos) son solubles en solventes orgánicos. Se usan principalmente como fuente de energía. Como los carbohidratos, constan de carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), pero dado que las cantidades y proporciones de estos elementos difieren de las que se encuentran en los carbohidratos, sus propiedades son distintas. La fórmula química de la estearina (un lípido) es C₅₇H₁₁₀O₆. Los lípidos pueden ser saturados o insaturados. Un grupo importante de lípidos es el de los esteroides (del inglés *steroids*), los cuales participan en la síntesis (producción o construcción) de hormonas. El colesterol es un miembro notable de la familia de los esteroides.

Proteínas

Las proteínas están formadas por aminoácidos, lo cual se expone en el capítulo 3. Revisten gran importancia porque son componentes estructurales del organismo, además de ser una fuente de energía. También ayudan a formar muchas otras sustancias, como las hormonas, receptores, enzimas y anticuerpos.

Ejemplos de sustancias inorgánicas

Agua (H₂O)

Como ya se señaló, el agua es el compuesto más abundante en todos los seres vivos y es un componente principal de todos los líquidos corporales. Tiene una función importante en la mayoría de las reacciones metabólicas, así como en el transporte de sustancias por todo el cuerpo. El agua puede absorber y transportar calor, por lo que es fundamental para mantener la temperatura corporal.

Oxígeno (O₂)

El oxígeno es necesario para la supervivencia. Es utilizado por los organelos de la célula para liberar energía de los alimentos (véase capítulo 2).

Unidades de medición

Para concluir este capítulo, que expone determinados conceptos biocientíficos y prepara al lector para los capítulos restantes, se presentan breves notas sobre las unidades de medición. Esta sección es importante porque la habilidad para identificar y entender unidades de medida mejora la comprensión del complejo organismo humano.

Una unidad es una palabra descriptiva estandarizada que especifica la dimensión de un número. Tradicionalmente, son siete las propiedades de la materia que se han medido con independencia unas de otras, a saber:

- **Tiempo:** mide la duración de un suceso,
- **Longitud:** mide la distancia de un objeto,
- **Masa y peso:** la masa es la cantidad de materia de un cuerpo; el peso es la fuerza que esa masa ejerce por efecto de una aceleración, más a menudo la que imparte la gravedad. En el habla cotidiana, a veces masa y peso se usan como sinónimos,
- **Corriente:** mide la cantidad de electricidad que pasa por un objeto,
- **Temperatura:** es un indicador de la cantidad de calor en un cuerpo,
- **Cantidad:** número de objetos o de unidades de alguna propiedad de un objeto,
- **Intensidad lumínica:** mide la brillantez de un objeto.

Originalmente, cada país o sociedad tenía sus propias unidades de medición. Por ejemplo, en Reino Unido había unidades como furlongs, millas, varas, galones, cuartos, bushels, celemines, etc. Esto hacía difícil que las personas –y en especial los científicos– de otros países se pusieran de acuerdo en lo que se medía, así que hace varios años se acordó un sistema internacional de unidades entre la mayoría de las naciones (sin embargo, una notable excepción a este acuerdo es EUA). Este nuevo sistema acordado es el *Système International d'Unités* (o SI, por brevedad). Es un sistema de unidades que relaciona el conocimiento científico actual con una estructura unificada de unidades. En los cuadros 1-1 a 1-7 se presentan unidades SI, prefijos de unidades y algunas unidades no estándares que aún se usan con alguna frecuencia.

Cuadro 1-1. Unidades fundamentales del SI

| Cantidad | Nombre | Símbolo |
|---------------------|-----------|---------|
| Longitud | metro | m |
| Masa | kilogramo | kg |
| Tiempo | segundo | s |
| Corriente eléctrica | ampere | A |
| Temperatura | kelvin | K |

| | | |
|--------------------------------|---------|-----|
| Cantidad de entidades atómicas | mol | mol |
| Intensidad lumínica | candela | cd |

Cuadro 1-2. Otras unidades SI comunes

| Cantidad física | Nombre | Símbolo |
|-------------------------|--------|---------|
| Fuerza | newton | N |
| Energía | joule | J |
| Presión | pascal | Pa |
| Diferencia de potencial | volt | V |
| Frecuencia | hertz | Hz |
| Volumen | litro | L |

Cuadro 1-3. Múltiplos de unidades SI

| Prefijo | Símbolo | Significado | Notación científica |
|---------|---------|--------------------------------|---------------------|
| tera | T | un billón (millón de millones) | 10^{12} |
| giga | G | mil millones | 10^9 |
| mega | M | un millón | 10^6 |
| kilo | k | mil | 10^3 |
| hecto | h | cien | 10^2 |
| deca | da | diez | 10^1 |
| deci | d | un décimo | 10^{-1} |
| centi | c | un centésimo | 10^{-2} |
| mili | m | un milésimo | 10^{-3} |
| micro | μ | un millonésimo | 10^{-6} |
| nano | n | un mil millonésimo | 10^{-9} |
| pico | p | un billonésimo | 10^{-12} |
| femto | f | un mil billonésimo | 10^{-15} |

| | | | |
|-----|---|-----------------|------------|
| ato | a | un trillonésimo | 10^{-18} |
|-----|---|-----------------|------------|

Cuadro 1-4. Medidas de peso

| |
|----------------------------|
| 1 kg = 1000 g |
| 1 g = 1000 mg |
| 1 mg = 10^{-3} g |
| 1 μ g = 10^{-6} g |
| 1 libra = 0.454 kg o 454 g |
| 1 onza (peso) = 28.35 g |
| 25 g = 0.9 onza |
| 1 onza = 28.34 g |

Cuadro 1-5. Medidas de volumen

| |
|-----------------------------|
| 1 L = 1000 mL |
| 100 mL = 1 dL |
| 1 mL = 1000 μ L |
| 1 galón británico = 4.5 L |
| 1 galón EUA = 3.785 L |
| 1 pinta británica = 568 mL |
| 1 pinta EUA = 473 ml |
| 1 onza británica = 28.42 mL |
| 1 onza EUA = 29.57 mL |
| 1 cucharadita = 5 mL |
| 1 cucharada = 15 mL |

Cuadro 1-6. Medidas de longitud

| |
|--------------------|
| 1 m = 10^{-3} km |
| 1 cm = 10^{-2} m |
| 1 mm = 10^{-3} m |

1 m = 39.37 pulg

1 milla = 1.6 km

1 yarda (yd) = 0.9 m

1 pie (ft) = 0.3 m

1 pulg = 25.4 mm

Cuadro 1-7. Medidas de energía

1 caloría (cal) = 4.184 J

1 000 calorías = 1 Caloría o kilocaloría (kcal)

1 kcal = 4184 J o 4.184 kJ

1 000 kcal = 4184 kJ

1 kJ = 0.238 kcal

Conclusión

Aquí termina esta introducción muy básica a la bioquímica que se requiere para entender la fisiología. Como el lector podrá ahora apreciar, la bioquímica y la fisiología son realmente complicadas, pero también muy interesantes, y en extremo excitantes. Después de todo, a medida que avance en el estudio de este libro, aprenderá sobre sí mismo –cómo funciona su cuerpo– tanto en los buenos tiempos (en la salud) como en los malos (en la enfermedad o tras un accidente). A todo el mundo le interesa su propio funcionamiento y lo que ocurre cuando come y bebe, se ejercita, va al baño, etcétera; no sólo al lector, también a sus pacientes. De modo que éste es un conocimiento que es importante tener cuando se trate con pacientes. Este primer capítulo es sólo el principio de un viaje; considérela un mapa que le ayudará a completar el viaje. Este viaje es de autoconocimiento y autoconciencia, y lo llevará al objetivo final: un buen conocimiento del cuerpo humano y su funcionamiento. ¡Buena suerte!

Glosario

Ácido. Sustancia con bajo **pH**. Lo opuesto de una sustancia **alcalina** o básica.

Álcali. Sustancia con alto **pH**. Lo opuesto a una sustancia **ácida**.

Anatomía. Estudio de las estructuras del cuerpo.

Anticuerpos. Proteínas capaces de reconocer agentes infecciosos en el organismo y unirse a éstos, a fin de provocar una reacción inmunitaria contra ellos.

Átomos. Componentes fundamentales de toda la materia; son en extremo pequeños y constan de diferentes combinaciones de protones, neutrones y electrones.

Base. Otro nombre usado para una sustancia **alcalina**.

Capas atómicas. Órbitas de los **electrones** alrededor del núcleo (el cual contiene **protones** y **neutrones**) de un **átomo**.

Compuesto. Sustancia pura formada por dos o más **elementos** unidos por un **enlace químico**.

Electrólito. Sustancia capaz de desplazarse a un electrodo con carga opuesta en solución.

Electrones. Las partes de un **átomo** que tienen carga eléctrica negativa. Véase **neutrones** y **protones**.

Elemento. Sustancia pura que no puede descomponerse en otras más simples por medios químicos (p. ej. hierro, hidrógeno).

Enlace covalente. Unión de **átomos** que comparten **electrones**.

Enlace iónico. Unión que ocurre cuando los átomos pierden o ganan **electrones**. Esto modifica la carga eléctrica de los **átomos**.

Enlace polar. Se forman enlaces polares cuando se unen átomos con distintas electronegatividades. En consecuencia, las **moléculas** que se generan también tienen carga eléctrica negativa débil, que les permite establecer **enlaces iónicos**, como algunos **átomos**. También se conocen como enlaces o puentes de hidrógeno porque deben estar presentes moléculas de hidrógeno para que existan enlaces polares. Son ejemplos de tales **moléculas** el ácido clorhídrico y el agua.

Enlace químico. Fuerza de atracción que mantiene los **átomos** unidos entre sí.

Enlace. Unión entre dos átomos o moléculas. Véase **enlace químico**, **enlace covalente**, **enlace iónico** y **enlace polar**.

Enzimas. Proteínas producidas por células que aceleran reacciones químicas en el organismo.

Equilibrio ácido-base. Relación entre un ambiente **ácido** y uno **alcalino**. Es esencial para una buena salud. Véase **pH**.

Fisiología. Estudio del funcionamiento de las estructuras corporales.

Homeostasis. Procesos de autorregulación en los que se ejercen controles negativos y positivos sobre determinadas variables; suelen implicar realimentación negativa, y el objetivo es mantener un ambiente interno estable.

Iones. Los iones son **átomos** en un estado inestable (su carga eléctrica no es neutra, sino positiva o negativa).

Mol. Unidad de medición de entidades químicas (átomos, moléculas, iones).

Molécula. Parte más pequeña de un **elemento** o **compuesto** que puede tener existencia independiente (p. ej. cloruro de sodio).

Neutrones. Partículas de un **átomo** que tienen carga eléctrica neutra o nula. Véase **electrones** y **protones**.

Número atómico. Número de **protones** presentes en cualquier **átomo** dado.

Organelos. Partes estructurales y funcionales de una célula.

Ósmosis. Movimiento de agua a través de una membrana semipermeable desde una zona de baja concentración de soluto a otra con alta concentración de soluto; esto permite el equilibrio de densidad de soluto y agua a ambos lados de la membrana semipermeable.

pH. Medida de la acidez o alcalinidad de una solución. Véase **equilibrio ácido-básico**.

Producto(s). La o las nuevas sustancias que se forman en una **reacción química**.

Protones. Partes de un **átomo** que tienen carga eléctrica positiva. Véase **electrones** y **neutrones**.

Reacción química. Proceso en el cual las sustancias se transforman en algo del todo distinto. Suele representarse mediante una ecuación química.

Reactivos. Sustancias que intervienen en una **reacción química**.

Sustancia neutra. Sustancia que no es **ácida** ni **alcalina**.

Sustancias inorgánicas. Sustancias que no contienen **átomos** de carbono (p. ej., agua).

Sustancias orgánicas. Las que contienen carbono (p. ej., carbohidratos, lípidos y proteínas).

Valencia. Medida de la capacidad de combinación de los **átomos**.

Bibliografía

- Fisher, J. and Arnold, J.R.P. (2012) *BIOS Instant Notes in Chemistry for Beginners*. London: BIOS Scientific Publishers.
- International Bureau of Weights and Measures (2006) *The International System of Units (SI)*, 8th edn. Paris: BIPM (updated 2014).
- Marieb, E.N. (2014) *Essentials of Human Anatomy and Physiology*, 11th edn. Harlow: Pearson Education.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2014) *Principles of Anatomy and Physiology*, 14th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. Son características de la vida:
 - (a) Digestión, excreción, irritación.
 - (b) Absorción, sangrado, circulación.
 - (c) Excreción, transpiración, reproducción.
 - (d) Inteligencia, crecimiento, reactividad.
2. Todos los organismos tienen cinco necesidades fundamentales. Éstas son:
 - (a) Dióxido de carbono, agua, boca, recto, oxígeno
 - (b) Oxígeno, presión, calor, agua, alimento
 - (c) Alimento, bajas temperaturas, dióxido de carbono, oxígeno, presión
 - (d) Presión, percepción espacial, vista, agua, alimento.
3. Los protones tienen:
 - (a) Carga eléctrica estable.
 - (b) Carga eléctrica nula.
 - (c) Carga eléctrica negativa.
 - (d) Carga eléctrica positiva.
4. ¿Cuál de los siguientes no es un tipo de enlace químico?
 - (a) Polar.
 - (b) Ecuatorial.
 - (c) Iónico.
 - (d) Covalente.
5. Hay tres clases de elementos, a saber:
 - (a) Metales, no metales, metaloides.
 - (b) Metales, oxidantes, electrones.
 - (c) Carbonos, no metales, metaloides.
 - (d) Metaloides, no metales, atómicos.
6. ¿Cuáles de las siguientes son sustancias orgánicas?
 - (a) Carbohidratos, proteínas, lípidos
 - (b) Carbohidratos, agua, oxígeno
 - (c) Agua, proteínas, lípidos
 - (d) Lípidos, oxígeno, proteínas.
7. La homeostasis es:
 - (a) El uso eficaz de los receptores.
 - (b) Una medida de la acidez del cuerpo.
 - (c) El intento del organismo de mantener un ambiente estable.
 - (d) Una combinación de propiedades físicas.
8. Una molécula de agua es la combinación de:
 - (a) 1 átomo de hidrógeno, 1 de oxígeno, 1 de carbono.
 - (b) 2 átomos de oxígeno, 1 de carbono.
 - (c) 2 átomos de oxígeno, 1 de hidrógeno.
 - (d) 1 átomo de oxígeno, 2 de hidrógeno.
9. En bioquímica, un mol es una unidad de:
 - (a) Intensidad.

- (b) Luminosidad.
 - (c) Valores de pH.
 - (d) Sustancia.
10. El organismo requiere agua para:
- (a) Liberar energía.
 - (b) Regular la temperatura corporal.
 - (c) Aportar energía.
 - (d) Mantener la sangre fluyendo por el cuerpo.

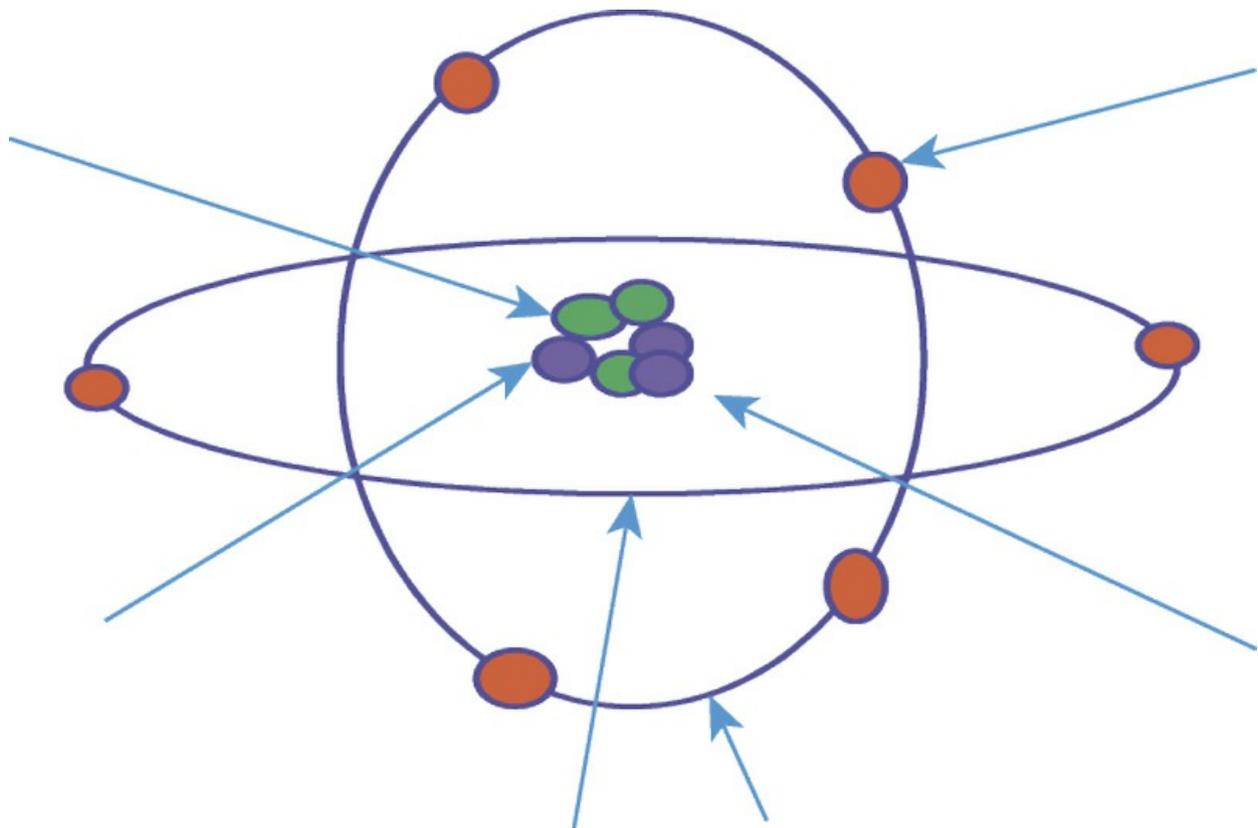
Falso o verdadero

1. Un ion es un átomo en estado eléctricamente neutro.
2. Las moléculas son combinaciones de átomos.
3. Los enlaces polares se forman entre moléculas.
4. Muchos electrólitos son minerales esenciales.
5. Las reacciones con un ácido o una base son propiedades físicas de los elementos.
6. La sal común no es un compuesto.
7. Siempre hay más átomos presentes después de una reacción química.
8. Las sustancias orgánicas contienen carbono e hidrógeno.
9. Los lípidos son ejemplos de sustancias inorgánicas.
10. Las proteínas están formadas por aminoácidos y constituyen componentes estructurales del organismo.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Protón, Neutrón, Órbita, Núcleo, Electrón



Llene los espacios 1

Usando palabras de la siguiente lista, llene los espacios en blanco:

cuerpo efectores ambientales externos sensores homeostásico interno
 mecanismos mensaje físico presión problemas receptores respuesta estable
 estímulos inestable

La homeostasis consiste en los intentos del organismo de mantener un ambiente interno _____. Para hacerlo, debe ser capaz de cambiar en respuesta tanto a cambios _____ (p. ej. temperatura ambiental) como a _____ internos (p. ej. cambios en la presión arterial). El organismo utiliza diversos _____ para mantener la homeostasis, incluidos _____ a fin de detectar cambios _____ externos e internos. Los receptores envían entonces mensajes al centro de control _____, que determina el valor específico –por ejemplo, la temperatura o _____ arterial correctas necesarias para el funcionamiento básico del organismo–. Dicho centro envía entonces un _____ a los _____ del cuerpo, lo que, a su vez, hace que el ambiente _____ contrarreste los efectos de los diversos estímulos o cambios.

Búsqueda de palabras 1

Encuentre en la siguiente retícula las palabras que se enumeran al final.

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | C | O | Z | H | I | E | R | R | O | K | P | A | O |
| N | A | J | O | Z | O | O | F | Q | I | U | R | N | H |
| A | T | O | M | O | N | N | E | U | T | R | O | N | R |
| T | O | J | M | O | R | T | I | O | N | B | T | L | A |
| O | C | H | E | R | L | S | N | T | R | H | O | E | L |
| M | A | I | B | G | S | E | D | A | H | A | N | Y | E |
| I | E | D | A | A | H | T | C | Q | O | J | E | K | J |
| A | N | R | Y | N | E | X | T | U | R | N | I | P | A |
| P | R | O | T | E | I | N | A | A | L | T | C | H | N |
| S | I | G | P | L | I | P | I | D | O | A | V | L | D |
| U | V | E | B | O | Y | I | F | R | U | K | L | O | R |
| Z | E | N | Y | E | L | E | M | E | N | T | O | X | R |
| E | S | O | T | I | M | A | B | L | E | Q | U | E | A |
| C | R | Y | U | L | M | O | T | R | E | M | A | S | I |

Anatomía, Átomo, Carbono, Elemento, Hidrógeno, Ion, Hierro, Lípido, Molécula, Neutrón, Organelo, Proteína, Protón

Ponga a prueba su aprendizaje

1. ¿Cuál es la importancia de la respiración para el organismo?
2. ¿Por qué el agua es esencial para todos los organismos, incluido el ser humano?
3. ¿Cómo se calcula el número atómico de un elemento?
4. ¿Qué es un ion, y en qué radica su importancia para los organismos?
5. Enumere algunos elementos comunes presentes en el cuerpo humano.
6. Explique lo que está ocurriendo en la reacción química representada por la ecuación siguiente:



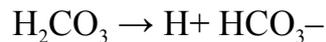
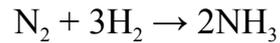
7. Comente la importancia del pH sanguíneo.
8. Analice la importancia de los carbohidratos para el organismo.

Para profundizar

1. Consiga una tabla periódica de los elementos y marque los que encontró en

este capítulo que son importantes para el ser humano.

2. Muchos electrólitos son minerales esenciales para el organismo. Averigüe de cuáles se trata.
3. Investigue, tomando notas, sobre el proceso de la ósmosis y su importancia para el funcionamiento y la salud del ser humano.
4. Revise el equilibrio ácido-base y su importancia para el mantenimiento de la salud y, de hecho, para la vida misma.
5. Analice lo que sucede en estas dos ecuaciones. NH_3 es el símbolo del amoníaco:



6. Investigue el intervalo normal de pH en el ser humano y luego comente por qué es importante que la enfermera alerte al personal médico si el pH de un paciente se encuentra fuera de dicho intervalo.
7. Investigue más sobre la importancia de la homeostasis para la salud.
8. Las grasas pueden ser saturadas o insaturadas; determine cuáles de los alimentos que habitualmente consume contienen uno o ambos tipos de grasas y su efecto sobre una nutrición saludable.
9. Durante todo un día anote todo lo que ingiere en el desayuno, comida y cena (además de bocadillos) y trate de determinar su contenido de carbohidratos, lípidos y proteínas.
10. ¿Cómo puede una enfermera ayudar a proporcionar una alimentación saludable a sus pacientes durante su estancia en el hospital y en casa?

Llene los espacios 2

Usando palabras de la siguiente lista llene los espacios en blanco:

átomo químico eléctrica electrón electrones igual a mayor que ion menor que menos molécula negativo neutrón órgano organelo físico más positivo proteína protones

Un _____ es un átomo o _____ en los cuales el número total de _____ no es _____ el número total de protones. Por lo tanto el _____ o molécula tienen carga _____ neta positiva o negativa.

Búsqueda de palabras 2

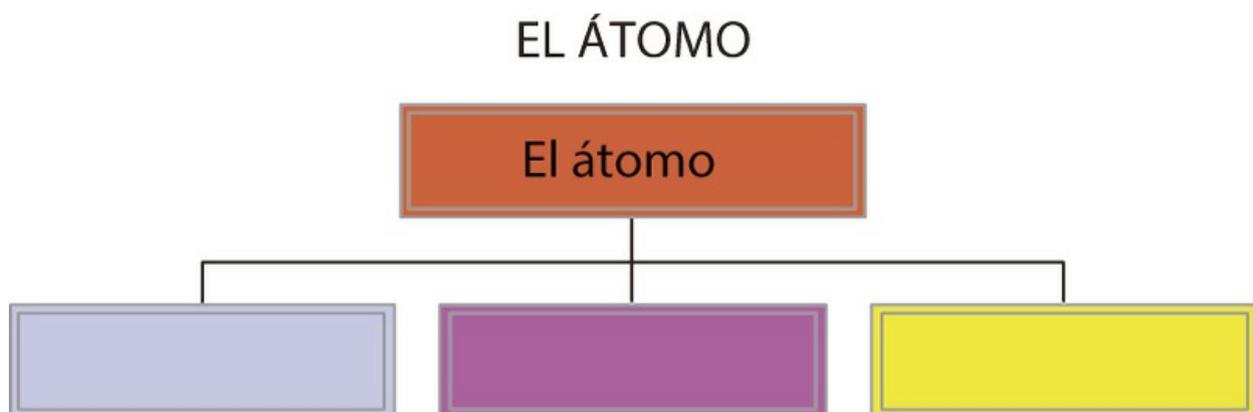
Encuentre las siguientes palabras en la retícula, y luego escriba algo acerca de cada una de ellas:

Álcalino, Átomo, Calcio, Covalente, Grasa, Hidrógeno, Ion, Masa, Mercurio, Metal, Órgano, pH, Fisiología, Polares, Sodio

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | O | L | A | R | E | S | N | D | S | U | O | K | W |
| H | F | R | E | M | O | Z | I | A | X | Y | N | X | I |
| S | A | I | G | O | N | I | L | A | C | L | A | V | S |
| T | M | A | S | A | T | O | M | O | E | R | G | H | A |
| C | H | R | M | I | G | M | E | R | C | U | R | I | O |
| A | O | V | O | U | O | H | Z | W | R | D | O | D | N |
| L | O | V | T | X | E | L | E | I | P | U | S | R | U |
| C | S | I | A | O | R | S | O | D | I | O | M | O | E |
| I | N | F | V | L | T | I | O | G | L | X | A | G | V |
| O | Q | A | Y | Z | E | I | N | L | I | A | Z | E | O |
| M | E | T | A | L | X | N | Z | A | S | A | O | N | I |
| P | W | G | R | A | S | A | T | I | O | N | G | O | A |
| Q | U | E | R | T | Y | U | I | E | P | L | K | J | S |
| A | L | U | R | T | E | M | I | W | R | S | T | U | V |

Rotule el diagrama 2

Coloque las palabras faltantes en el diagrama que sigue.





Capítulo 2

Células, compartimientos celulares, sistemas de transporte y movimiento de líquidos entre compartimientos

Muralitharan Nair

Ponga a prueba sus conocimientos previos

- Dibuje y nombre las estructuras de una célula humana
- ¿Cuál es la función del citoplasma?
- Enumere las funciones de la membrana celular
- ¿Dónde se encuentra el compartimiento extracelular en una célula?
- Describa las funciones y mecanismos regulatorios que mantienen el equilibrio hidroelectrolítico en el organismo

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Esbozar la estructura y función de la membrana plasmática
- Describir las funciones de los organelos
- Explicar el sistema de transporte celular
- Identificar los compartimientos hídricos del organismo
- Enumerar los principales electrólitos de los compartimientos extracelulares e intracelulares del organismo

Introducción

Las células son las unidades estructurales y funcionales de todos los seres vivos. Algunos microorganismos, como las bacterias, son unicelulares (consisten en una sola célula). Otros, como el ser humano, son multicelulares (están constituidos por muchas células; véase figura 2-1). Son las unidades de vida independientes más pequeñas, con distintas partes (figura 2-2) que realizan funciones específicas (cuadro 2-1). Para sobrevivir, las células realizan algunas actividades químicas fundamentales en su interior. Son ejemplos de tales actividades el crecimiento, metabolismo y reproducción. Cada célula es una unidad de vida fascinante; puede captar nutrientes, convertirlos en energía, realizar funciones especializadas y reproducirse según sea necesario. Y lo que es más sorprendente, cada célula almacena su propio conjunto de instrucciones para realizar cada una de esas actividades.

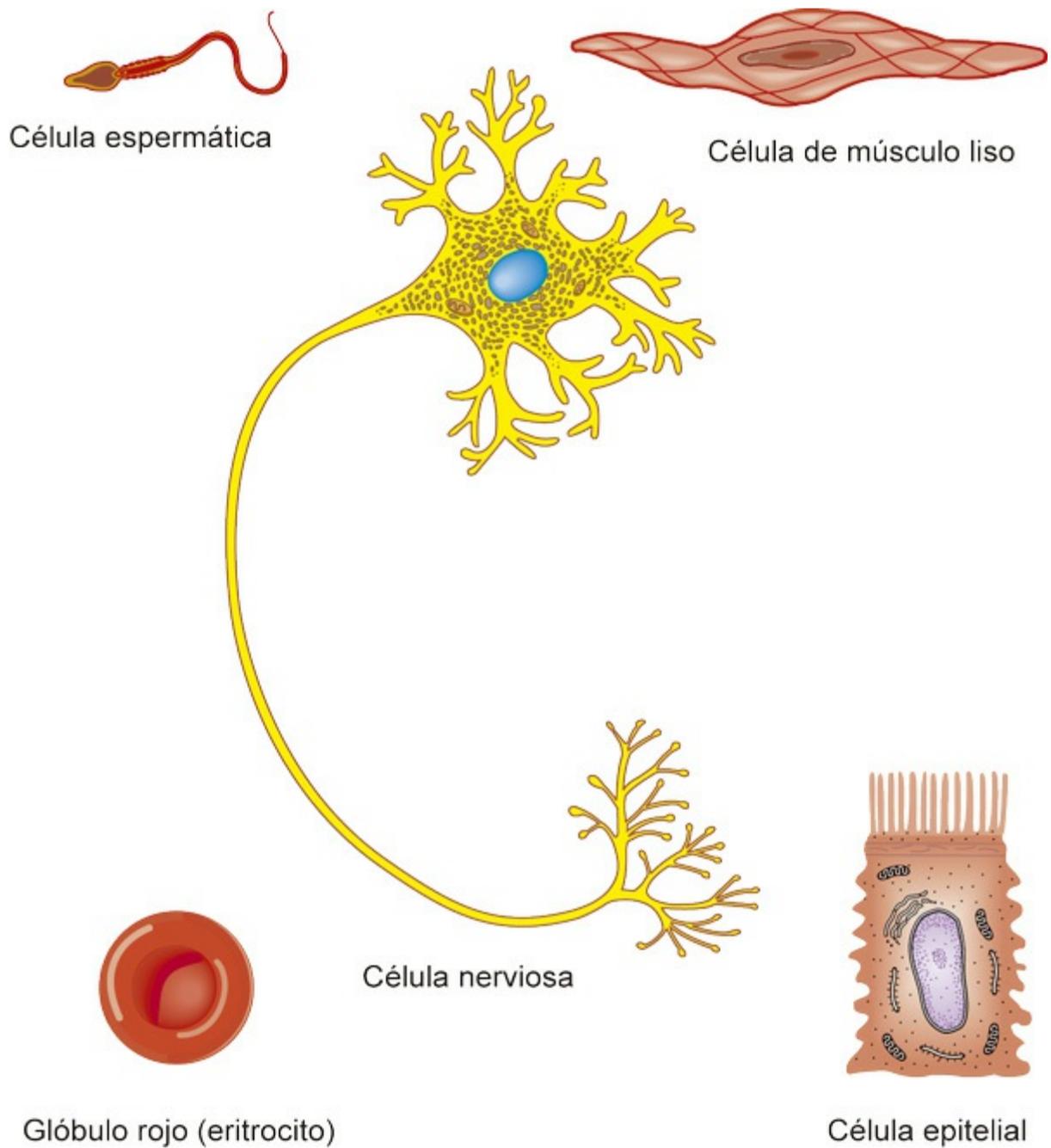


Figura 2-1. Ejemplos de células del cuerpo humano. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

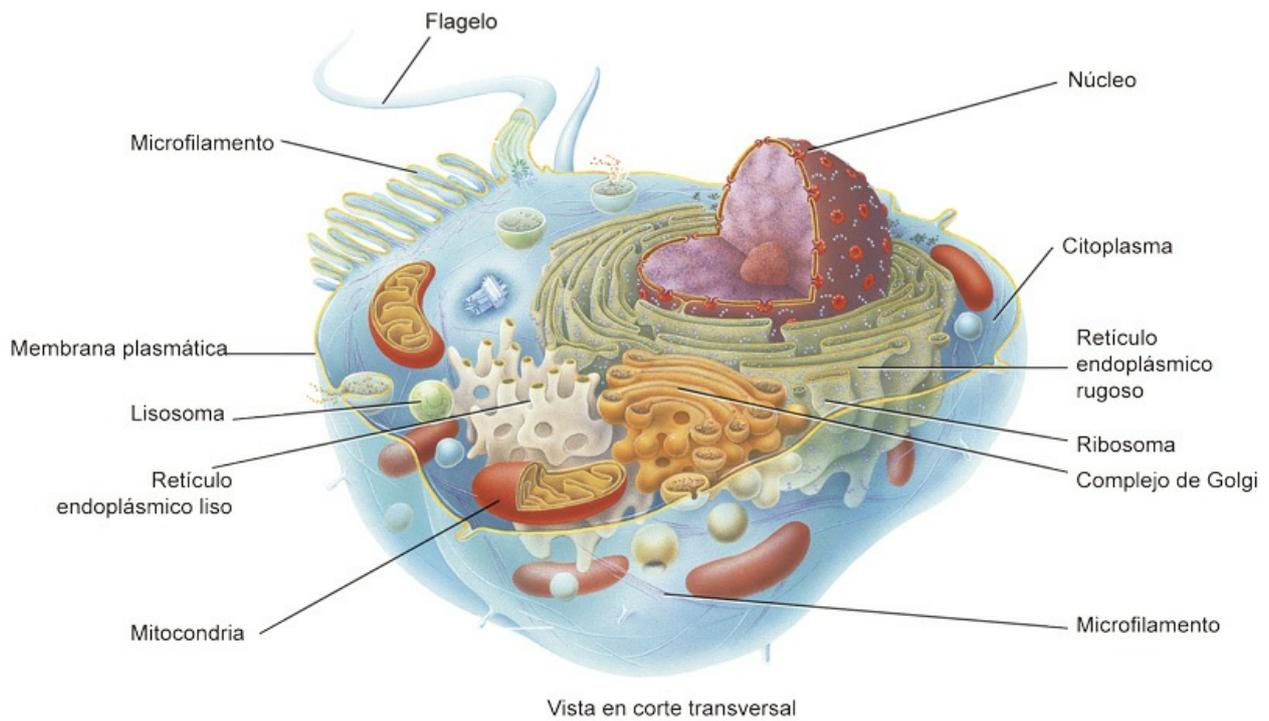


Figura 2-2. Estructura de una célula. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cuadro 2-1. Compartimientos celulares y sus funciones

| Componentes | Funciones |
|---------------------------------------|--|
| Centríolos | Reproducción celular |
| Cromatina | Contiene información genética |
| Cilios (pleurales) | Desplazan líquido o partículas sobre la superficie de la célula |
| Citoplasma | Porción líquida en que están suspendidos los organelos |
| Citoesqueleto | Da soporte y un sustrato para enzimas específicas |
| Retículo endoplásmico (rugoso y liso) | Muchas funciones, incluidas transporte de proteínas, modificación de fármacos y síntesis de lípidos y esteroides |
| Gránulos de glucógeno | Reservas de glucógeno |
| Complejo de Golgi | Empaca proteínas para su secreción |
| Filamento intermedio | Ayuda a determinar la forma de la célula |
| Lisosomas | Degradan y digieren sustancias nocivas: en células normales, algunas |

| | |
|----------------------|---|
| | de las proteínas sintetizadas pueden ser defectuosas; los lisosomas se encargan de su eliminación |
| Microfilamentos | Dan soporte estructural y participan en el movimiento celular |
| Microtúbulos | También aportan canales de conducción a través de los cuales pueden desplazarse diversas sustancias por el citoplasma; dan forma y soporte al citoesqueleto |
| Microvellosidades | Aumentan la superficie celular; sitio para la secreción, absorción y adhesión celular |
| Mitocondrias | Sitios de producción de energía de la célula; las mitocondrias se reproducen por sí mismas |
| Nucléolo | Sitio de la formación de ribosomas |
| Núcleo | Contiene información genética |
| Peroxisomas | Sitio de reacciones metabólicas y para la destrucción de peróxido de hidrógeno; protegen la célula contra sustancias dañinas, como el alcohol y el formaldehído |
| Membrana plasmática | Regula la entrada y salida de sustancias de la célula |
| Ribosomas | Sitios para la síntesis de proteínas |
| Vesículas secretoras | Secretan hormonas, neurotransmisores |

Sustancias como el agua, electrolitos y nutrientes entran y salen de la célula usando un sistema de transporte. Hay un movimiento constante de agua y electrolitos entre los compartimientos intracelular y extracelular. Dicho movimiento asegura que las células reciban un suministro constante de electrolitos, como el sodio, cloro, potasio, magnesio, fosfato, bicarbonato y calcio, para el funcionamiento celular. La célula tiene cuatro partes básicas:

- Membrana celular.
- Citoplasma.
- Núcleo.
- Nucleoplasma.

Membrana celular

Como todas las otras membranas de la célula, la membrana plasmática consta de lípidos y proteínas. La estructura fundamental de la membrana es la bicapa fosfolipídica (también llamada doble membrana), que forma una barrera estable entre dos compartimientos acuosos. En el caso de la membrana plasmática, estos compartimientos son el interior y el exterior de la célula. Proteínas integradas dentro de la bicapa fosfolipídica realizan las funciones específicas de la membrana plasmática, incluidos el transporte selectivo de moléculas y el reconocimiento célula a célula.

La membrana plasmática o celular es delgada y constituye la capa más externa de una célula. Contiene a ésta y asegura su integridad y la de su contenido, al tiempo que los separa del ambiente circundante. La membrana celular incluye diversas moléculas biológicas, principalmente proteínas y lípidos, que intervienen en diversas funciones de la célula, como la comunicación y el transporte. Consiste en una doble capa (bicapa) de moléculas de fosfolípido (adiposas) con moléculas de proteína dispersas entre ellas (figura 2-3). La membrana celular tiene entre 7.5 y 10 nm (nanómetros) de espesor (Jenkins and Tortora, 2013).

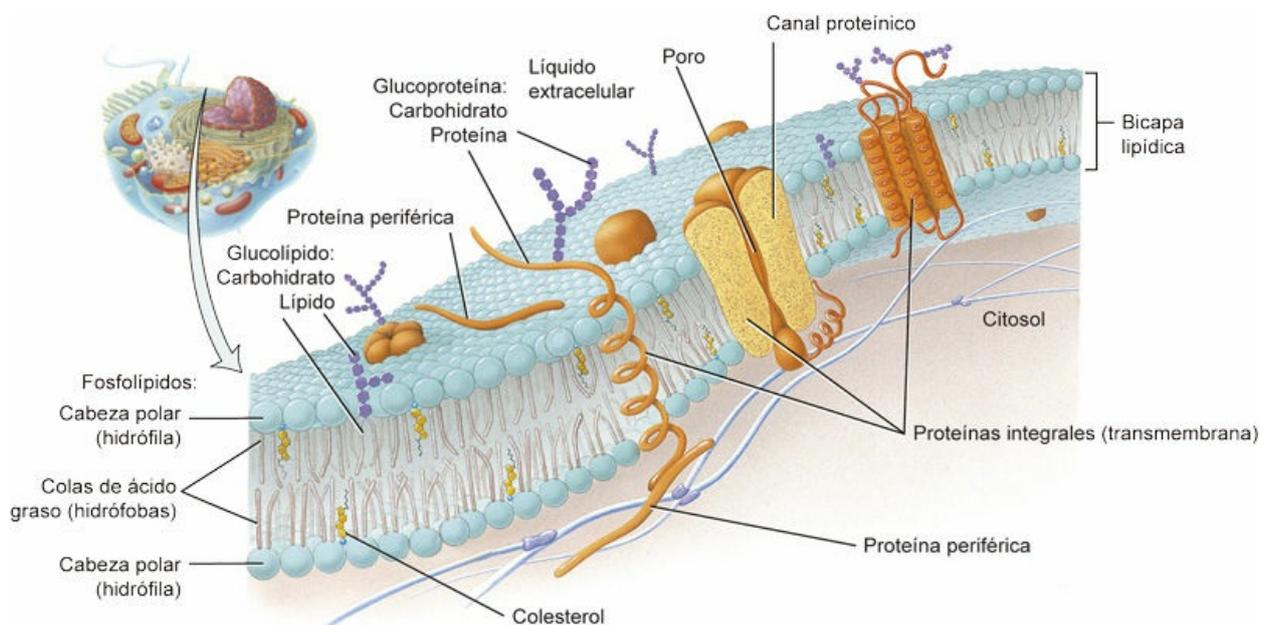


Figura 2-3. Membrana celular. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La bicapa fosfolipídica consiste en “cabezas” polares, hidrófilas (afines al agua), y “colas” de ácido graso, hidrófobas (que repelen el agua). Las cabezas hidrófilas se sitúan en las superficies externa e interna de la célula, mientras que las colas hidrófobas apuntan al interior de la membrana celular (véase figura 2-3) ya que son los extremos que repelen el agua. Estas moléculas de fosfolípido están dispuestas como una bicapa con las cabezas hacia fuera. Ello significa que la bicapa es autosellante. Es la parte central de la membrana plasmática,

consistente en “colas” hidrófobas, lo que hace a la membrana celular impermeable a moléculas hidrosolubles, y de este modo impide el paso de estas moléculas hacia dentro y fuera de la célula (Marieb & Hoehn, 2013). Sin embargo, las células requieren la entrada y salida de sustancias para sobrevivir y funcionar; ello es realizado por proteínas especiales, como las proteínas integrales de membrana y las proteínas de membrana periféricas (véase figura 2-3).

Las proteínas integrales transmembrana están unidas a la membrana celular y pueden constituir canales para el transporte de materiales dentro y fuera de la célula. Son ejemplos de proteínas integrales transmembrana los canales iónicos controlados por voltaje –como los que transportan iones potasio dentro y fuera de las células–, determinados tipos de receptores de los linfocitos T, el receptor de insulina, y muchos otros receptores y neurotransmisores. Por otra parte, las proteínas periféricas de membrana se adhieren temporalmente a la membrana celular con la que se han vinculado. Pueden interactuar con otras proteínas o directamente con la bicapa lipídica.

Funciones de la membrana celular

Las membranas celulares tienen varias funciones importantes:

- Son membranas semipermeables selectivas, lo cual significa que algunas moléculas pueden difundirse a través de la bicapa lipídica pero no así otras. Moléculas hidrófobas pequeñas y gases como oxígeno y dióxido de carbono cruzan las membranas con rapidez. Moléculas polares pequeñas, como el agua y el etanol, también pueden atravesar membranas, pero lo hacen más lentamente. Por otra parte, las membranas celulares restringen la difusión de moléculas con carga eléctrica considerable, como los iones, y de moléculas grandes, como azúcares y aminoácidos. El paso de estas moléculas depende de proteínas de transporte específicas incluidas en la membrana.
- Las proteínas de transporte de membrana son específicas y selectivas para las moléculas que mueven, y a menudo utilizan energía para catalizar ese cruce. Además, esas proteínas transportan algunos nutrientes contra el gradiente de concentración, lo cual requiere energía extra. La capacidad de mantener gradientes de concentración y a veces desplazar materiales en contra de ellos es vital para la salud y el mantenimiento de las células. Gracias a las barreras de membrana y a las proteínas de transporte, la célula puede acumular nutrientes en concentraciones más elevadas que las que existen en el entorno, y a la inversa, eliminar productos de desecho (figura 2-4).

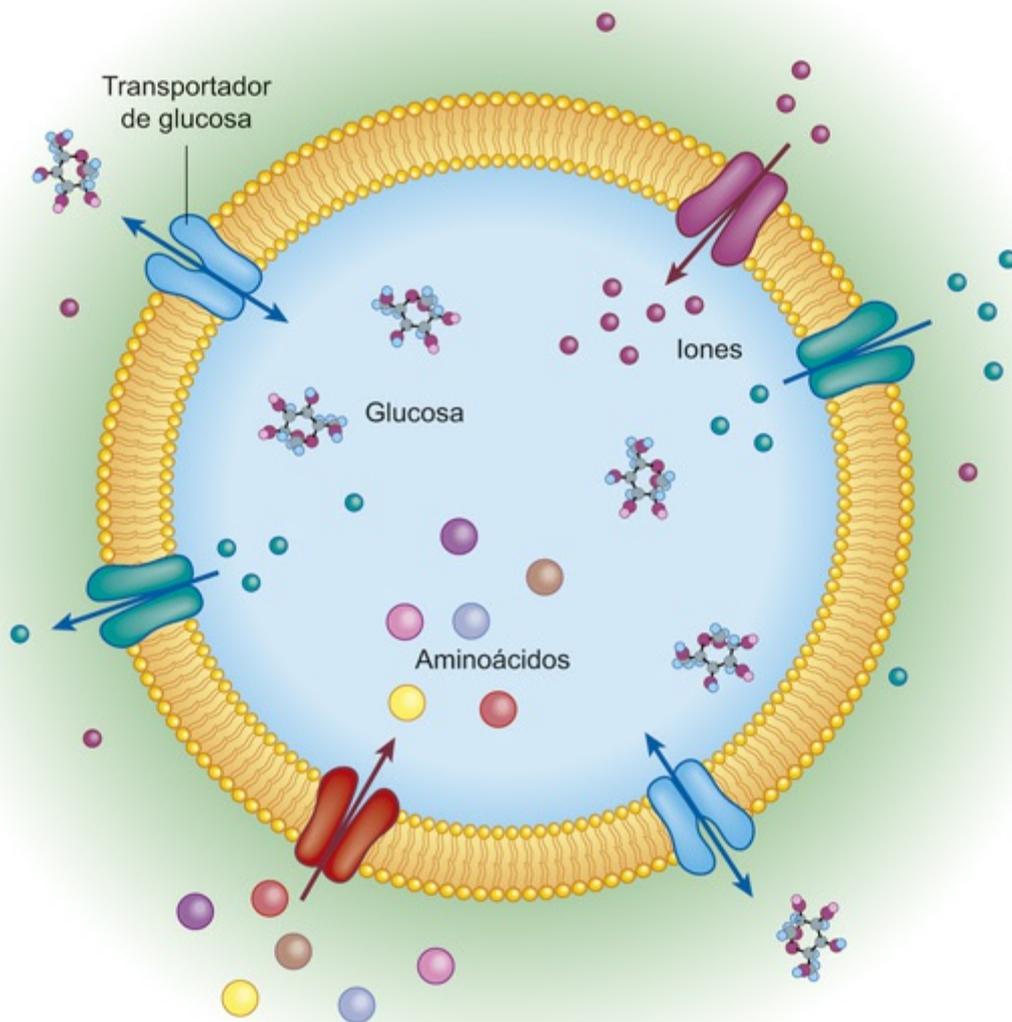


Figura 2-4. Sistema de transporte selectivo. *Fuente:* O'Connor y Adams (2010).
Reproducida con permiso de Nature Publishing Group.

- Otras proteínas transmembrana tienen tareas relacionadas con la comunicación. Dichas proteínas fijan señales, como hormonas o mediadores inmunitarios, a sus porciones extracelulares. Esa unión causa un cambio conformacional en la proteína, que entonces transmite una señal a moléculas mensajeras intracelulares. Como las proteínas de transporte, las proteínas receptoras son específicas y selectivas para las moléculas a las que se unen (figura 2-5).

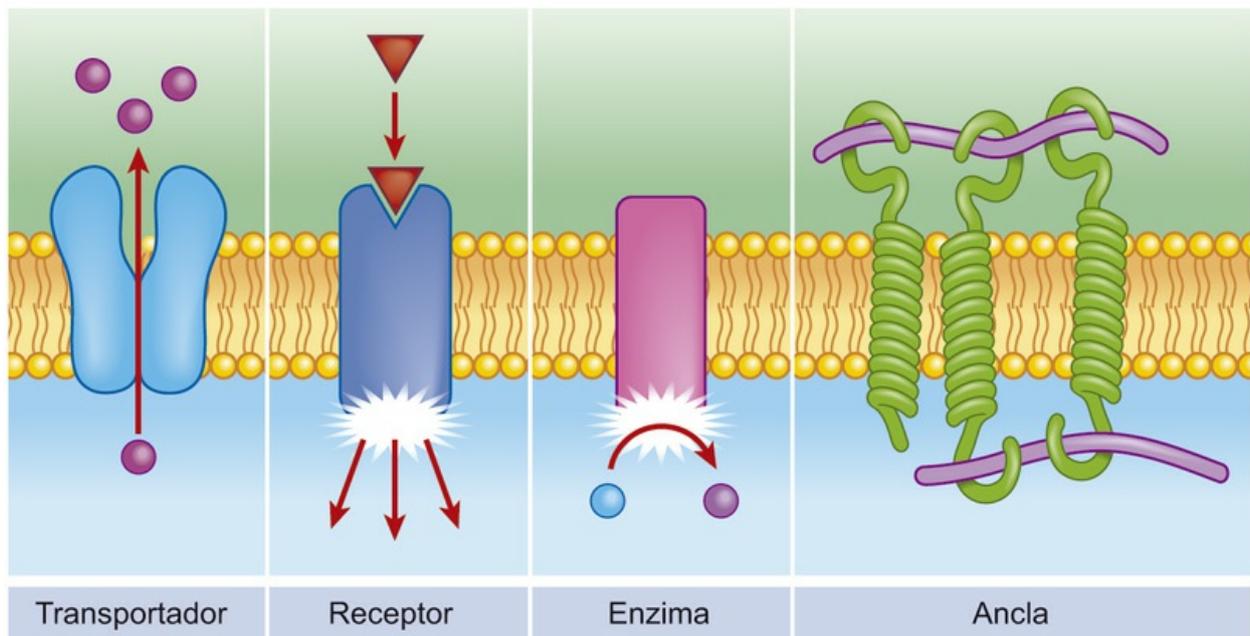


Figura 2-5. Acción de proteínas transmembrana. *Fuente:* O'Connor y Adams (2010). Reproducida con permiso de Nature Publishing Group.

Algunas de las proteínas embebidas en la membrana celular dan soporte estructural a la célula, mientras que otras son enzimas que aceleran reacciones químicas. Algunas proteínas de membrana regulan sustancias hidrosolubles a través de poros en la membrana celular; otras son receptores en sitios en que actúan las hormonas y otras sustancias, como los neurotransmisores. Otras proteínas de la membrana celular importantes son las glucoproteínas, fundamentales en el reconocimiento intercelular. Un ejemplo son las mucinas, secretadas en el moco de las vías digestivas y respiratorias.

Compartimientos hídricos celulares

Los dos principales compartimientos hídricos del organismo son el intracelular y el extracelular. El compartimiento intracelular es el espacio dentro de la célula, y el líquido contenido en ésta es el líquido intracelular (LIC). El compartimiento extracelular se encuentra fuera de la célula, y el líquido presente aquí se denomina líquido extracelular (LEC). El compartimiento extracelular se subdivide en los compartimientos intersticial e intravascular. Dos tercios del líquido corporal se encuentran dentro de la célula, y un tercio se localiza fuera de ella. El compartimiento intersticial contiene 80% del LEC, y el otro 20% está en el compartimiento intravascular como plasma (figura 2-6).

Líquido corporal total

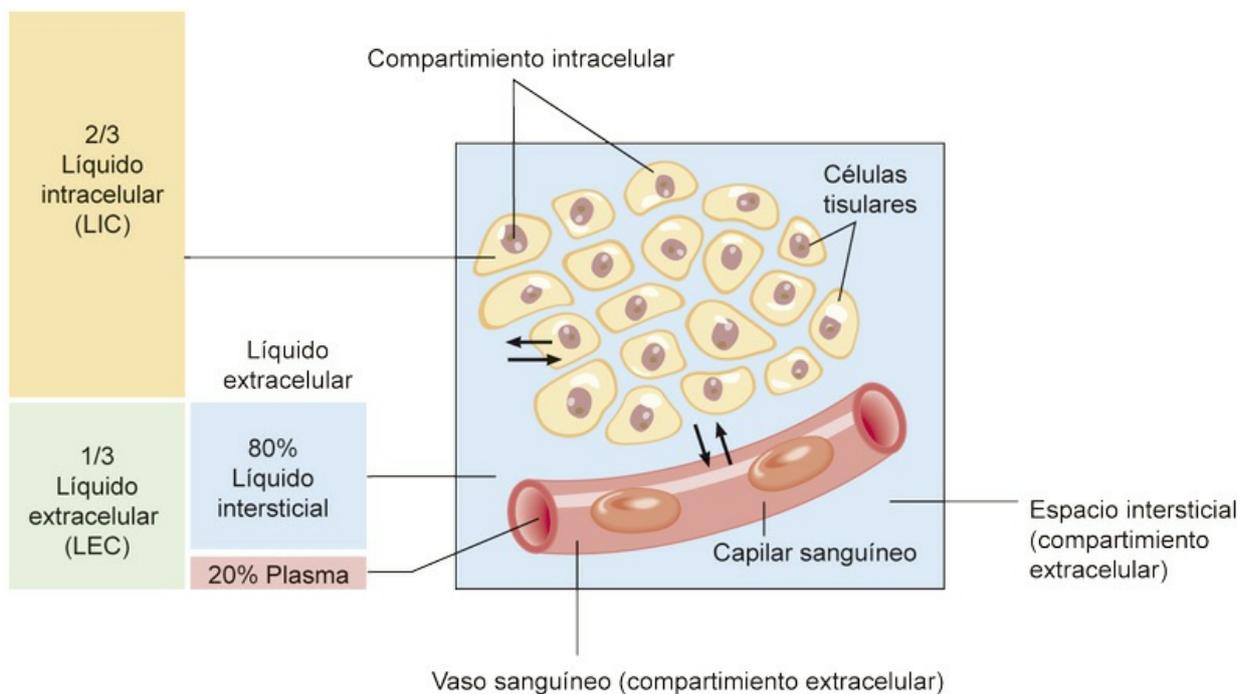


Figura 2-6. Compartimientos hídricos. *Fuente:* Nair y Peate (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Líquido intracelular

- El LIC es básicamente una solución de potasio y aniones orgánicos, proteínas, etc.
- Las membranas celulares y el metabolismo celular controlan los constituyentes de este LIC.
- El LIC no es constante en el cuerpo. Es un agregado de líquidos de todas las distintas células.

Líquido extracelular

- El LEC consiste principalmente en NaCl y NaHCO₃ en solución.
- El LEC se subdivide en tres compartimientos:

- El líquido intersticial (LIS) consiste en todas las pequeñas cantidades de líquido que yacen en los intersticios de todos los tejidos corporales. También es un líquido “virtual” (es decir, existe en muchas porciones pequeñas separadas, aunque se habla de él como si fuera un depósito de líquido con composición uniforme en una localización específica). El LIS baña todas las células del cuerpo y es el vínculo entre el LIC y el compartimiento intravascular. Oxígeno, nutrimentos, desechos y mensajeros químicos, todos pasan por el LIS. El LIS tiene las características composicionales del LEC (como ya se dijo), pero se distingue por su concentración usualmente baja de proteínas (comparado con el plasma). La linfa se considera parte del LIS. El sistema linfático devuelve proteínas y excedentes de LIS a la circulación. La linfa se obtiene más fácilmente para análisis que otros componentes del LIS.
- El plasma es el único compartimiento hídrico mayor que existe como un verdadero depósito de líquido en una ubicación. Difiere del LIS en su contenido mucho más alto de proteínas y en su elevado gasto (función de transporte). La sangre contiene glóbulos rojos y blancos suspendidos, de modo que el plasma se ha llamado el “LIS de la sangre”. El volumen sanguíneo es interesante porque es un compartimiento compuesto que contiene LEC (plasma) y LIC (agua de los eritrocitos).
- El líquido transcelular es un pequeño compartimiento formado por todos aquellos líquidos corporales que se forman debido a las actividades de transporte de las células. Está contenido dentro de espacios recubiertos de epitelio. Incluye el líquido cefalorraquídeo, líquidos del tubo digestivo, orina, humor acuoso y líquido articular. Es importante debido a sus funciones especializadas. Los flujos de líquido gastrointestinal pueden ser muy considerables.
- El líquido del hueso y del tejido conjuntivo denso es significativo porque contiene alrededor del 15% del agua corporal total. Este líquido se moviliza muy lentamente, y ello reduce su importancia al considerar los efectos de intervenciones hídricas agudas.

Caso clínico

Pérdida de agua y electrolitos por quemaduras

Juan Díaz, varón de 48 años, fue llevado en ambulancia a la sala de urgencias después de ser rescatado de su casa en llamas. Estaba dormido esa noche cuando una brasa de la chimenea inició un incendio, dejándolo atrapado en su dormitorio. Cuando el equipo de rescate llegó, Juan había sufrido quemaduras graves e inhalado mucho humo.

Cuando llegó a la sala de urgencias estaba inconsciente. Tenía quemaduras de segundo grado en 5% de su cuerpo y de tercer grado en 20%; ambas cubrían tórax, abdomen y codo derecho. Los signos vitales eran muy inestables: presión arterial 53/35 mm Hg; frecuencia cardíaca 200 latidos/min; frecuencia respiratoria 38 respiraciones/min. Su estado se deterioraba por insuficiencia circulatoria. Se colocaron dos líneas intravenosas, y se le administraron líquidos y electrolitos por ambas vías. Los signos vitales se estabilizaron, y Juan fue llevado a la unidad de cuidados intensivos.

Él recuperó la conciencia al día siguiente y pudo responder verbalmente. Una vez que su

condición fue estable y reaccionó al tratamiento, se le transfirió a la sala general, donde continuó recuperándose favorablemente. Al final fue dado de alta después de recuperarse por completo.

Movimiento de líquidos entre compartimientos

El movimiento de líquidos entre el compartimiento intracelular y el extracelular es controlado principalmente por dos fuerzas:

- *Presión hidrostática*: la presión ejercida por el líquido.
- *Presión osmótica*: la presión que debe ejercerse en una solución para impedir el paso de agua hacia ella a través de una membrana selectivamente permeable.

Además, el movimiento de líquido depende de solutos disueltos en él; los cambios en la concentración de solutos afectan el movimiento entre compartimientos. De modo similar, los cambios en el volumen hídrico también afectan el movimiento de líquido entre compartimientos. Un ejemplo de movimiento de líquido y soluto que ocurre en el organismo es cuando la presión arterial (presión hidrostática) fuerza líquidos y solutos desde el extremo arterial de los capilares hacia el espacio del LIS (figura 2-7). Líquido y solutos vuelven a los capilares en el extremo venoso como resultado de la presión osmótica. También entra líquido en los capilares linfáticos desde el espacio intersticial, como resultado de la presión osmótica en los vasos linfáticos.

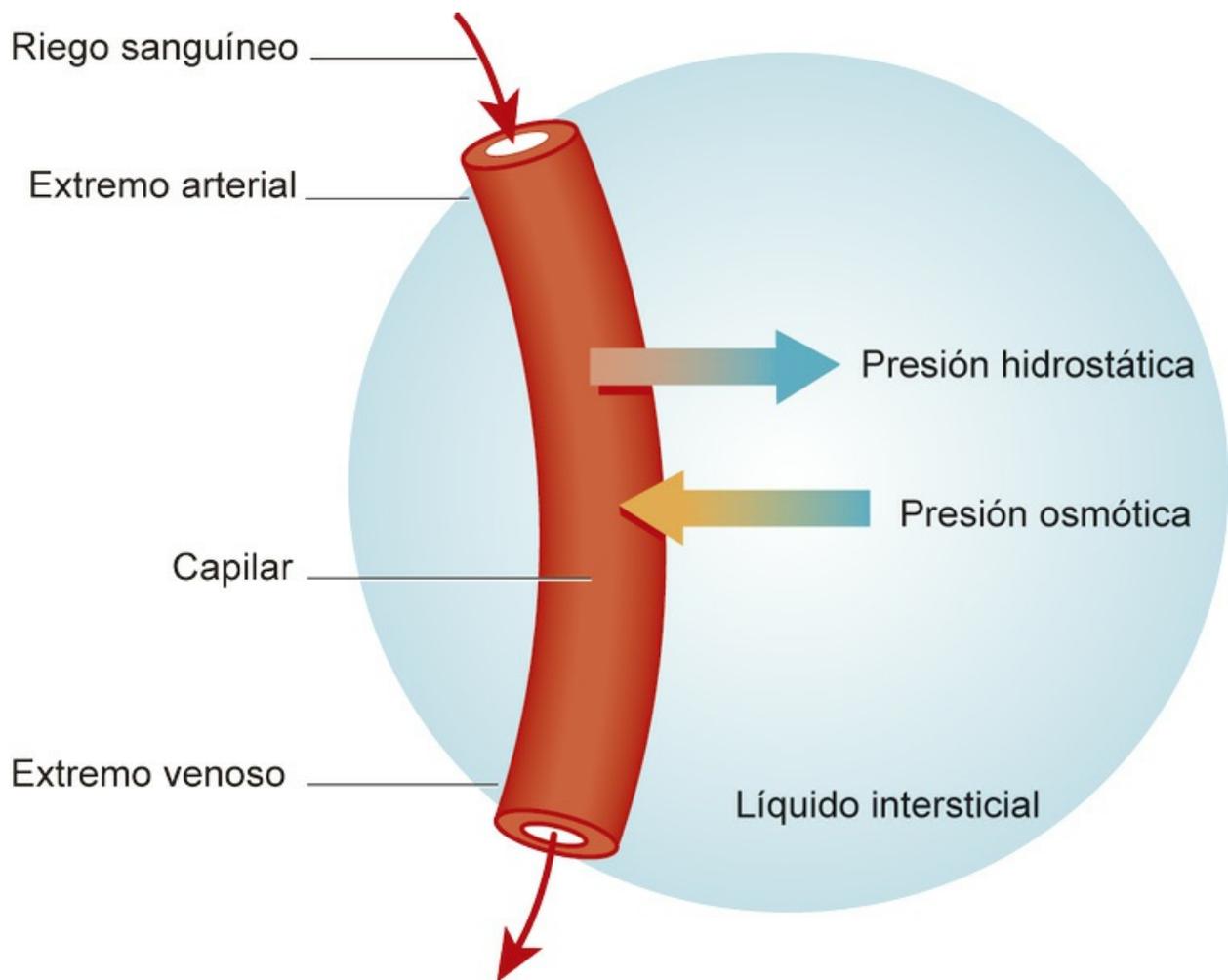


Figura 2-7. Presiones capilares hidrostática y osmótica. *Fuente:* Peate y Nair (2011). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El movimiento de líquido entre los compartimientos intracelular y extracelular es resultado de las presiones hidrostática y osmótica. En un estado de salud normal, la presión hidrostática en el compartimiento intracelular y el espacio intersticial está en equilibrio y por lo tanto el movimiento de líquido es mínimo. Sin embargo, cambios en la presión osmótica ya sea en el compartimiento intracelular o el extracelular pueden afectar el movimiento de líquido. Dado que la barrera capilar es fácilmente permeable a los iones, la presión osmótica dentro del capilar es determinada principalmente por proteínas plasmáticas, que son relativamente impermeables. Así, en vez de hablar de presión “osmótica”, a ésta se le llama presión “oncótica” o “coloidosmótica” porque es generada por coloides. La albúmina genera alrededor de 70% de la presión oncótica. Esta presión suele ser de 25 a 30 mm Hg. La presión oncótica aumenta a todo lo largo del capilar, en especial en el caso de capilares que tienen filtración neta elevada (p. ej., en capilares del glomérulo renal), porque el líquido que se filtra deja atrás proteínas, lo que ocasiona un aumento en la concentración de éstas.

Composición del líquido corporal

El líquido corporal está formado por agua y sustancias disueltas, como

electrólitos (sodio, potasio y cloro), gases (oxígeno y dióxido de carbono), nutrimentos, enzimas y hormonas. El agua corporal total constituye 60% del peso corporal total, y tiene un cometido importante en el funcionamiento celular (LeMone *et al.*, 2011). Es esencial para el organismo porque:

- Actúa como lubricante, que facilita la deglución.
- También es el principal componente de los sistemas de transporte del organismo. La sangre transporta nutrimentos, oxígeno, glucosa y grasas a diversos tejidos y células. Además, en ella se eliminan los productos de desecho del metabolismo celular, como el ácido láctico y el dióxido de carbono. La orina transporta varios productos de desecho fuera del cuerpo; por ejemplo, urea, fosfatos, sulfitos, minerales, cetonas del metabolismo de las grasas y desechos nitrogenados de la degradación de proteínas.
- Es necesaria para mantener la temperatura corporal en 37 °C. Cuando ésta comienza a aumentar, los vasos sanguíneos cerca de la superficie de la piel se dilatan para liberar parte del calor; ocurre lo opuesto cuando la temperatura corporal comienza a descender. Además, cuando ésta asciende, las glándulas sudoríparas secretan sudor, que es 99% agua. A medida que el sudor se evapora, toma calor del cuerpo, funcionando como un mecanismo termoregulador.
- Constituye un medio óptimo para el funcionamiento de las células.
- Muchas reacciones químicas del organismo requieren agua. Una reacción de síntesis implica la unión de dos moléculas con la liberación de una molécula de agua, y una reacción de hidrólisis implica la división de una molécula en dos más pequeñas con la adición de agua.
- Rompe partículas de alimento en el aparato digestivo.
- Aporta lubricación a las articulaciones, ya que es un componente del líquido sinovial. También es un componente de las lágrimas, que lubrican los ojos, y de la saliva, que lubrica el alimento, con lo que ayuda a la masticación, deglución y digestión de los nutrimentos. También tiene funciones protectoras, pues arrastra partículas que entran en los ojos, y amortigua impactos en los ojos y la médula espinal. Asimismo, es un componente del líquido amniótico, que protege al feto durante la gestación.

Efectos de la deficiencia de agua

La deficiencia de agua en el cuerpo puede afectar diversas funciones, y en casos graves puede ocasionar la muerte. Algunos de los problemas relacionados con la deficiencia de agua son:

- Baja presión arterial.
- Aumento de la coagulación sanguínea.
- Disfunción renal, que puede llevar a insuficiencia renal.
- Estreñimiento grave.
- Falla orgánica múltiple.
- Propensión a infecciones.
- Desequilibrio hidroelectrolítico.

Manejo de medicamentos

Diuréticos

Los diuréticos incrementan la excreción urinaria de agua y electrolitos, y en ocasiones se les llama “perdedores de agua”. En términos generales, inhiben la reabsorción de electrolitos desde la luz de la nefrona, con lo que elevan la osmolaridad y favorecen la excreción de agua. Los diuréticos tienen diferentes usos clínicos según sus sitios y mecanismos de acción. Las subclases de diuréticos son:

- Tiazidas (p. ej., bendroflumetiazida, hidroclorotiazida, y el diurético tipo tiazídico indapamida), usadas principalmente a dosis bajas para el tratamiento de la hipertensión, pero también, en el caso de la metolazona, en combinación con diuréticos de asa para tratar la insuficiencia cardiaca grave.
- Los diuréticos de asa (p. ej., furosemida, bumetanida, torasemida) se usan ampliamente en el tratamiento sintomático de insuficiencia cardiaca y retención de líquido en la nefropatía crónica.
- Los ahorradores de potasio (p. ej., amilorida, triamtereno) son diuréticos débiles, mientras que espironolactona y eplerenona se usan en el tratamiento de la hipertensión, edema por insuficiencia hepática e insuficiencia cardiaca.
- Los diuréticos osmóticos (manitol) se emplean en el ambiente hospitalario para tratar el edema cerebral.
- Los inhibidores de la anhidrasa carbónica (acetazolamida) se utilizan para la profilaxis del mal de montaña (uso no indicado por el fabricante) y glaucoma.

Son problemas comunes:

- Pérdida de potasio cuando se administran diuréticos no ahorradores de potasio;
- Trastornos metabólicos;
- Hipotensión;
- Insuficiencia renal: a dosis altas, los diuréticos pueden causar uremia prerrenal.

Véase Rull (2013).

Variación en el contenido de líquido corporal

Los neonatos tienen más agua que los adultos: 75 a 80% de agua; proporcionalmente más LEC que los adultos. Al nacer, la cantidad de LIS es proporcionalmente tres veces mayor que en el adulto. Hacia los 12 meses, ha disminuido a 60%, que es el valor del adulto. El agua corporal total como porcentaje del peso corporal total disminuye de manera progresiva con la edad. Hacia los 60 años, el agua corporal total puede disminuir a sólo 50% del peso corporal total en varones, debido en mayor medida al aumento de tejido adiposo.

Consideraciones clínicas

Deshidratación

La deshidratación puede deberse a un ingreso insuficiente o pérdida excesiva de agua, o ambos. La causa más común de deshidratación es su falta de consumo. La privación de agua es mucho más grave que la de alimentos. La persona promedio pierde alrededor de 2.5% del agua corporal total al día (unos 1200 mL) en la orina, aire espirado, transpiración insensible y eliminación gastrointestinal. Si aparte de esta pérdida se eleva mucho debido a sudación, la deshidratación puede provocar choque y la muerte en unas cuantas horas. Cuando la deglución es difícil en pacientes muy enfermos, o cuando las personas no reaccionan a la sensación de sed a causa de su edad, enfermedades o embotamiento de la conciencia, el no compensar la pérdida diaria de agua corporal pronto da como resultado la deshidratación y sus consecuencias. También pueden perderse grandes volúmenes de agua por el vómito o la diarrea.

Los síntomas de deshidratación dependen en parte de la causa y de si hay privación relacionada de sal. Cuando la pérdida de agua es desproporcionadamente mayor que la pérdida de electrolitos (sal), la presión osmótica de los LEC se hace más alta que en las células. Dado que el agua pasa de una región de menor presión osmótica a otra de mayor presión osmótica, el agua fluye de las células al LEC, con lo que tiende a reducir su presión osmótica y aumentar su volumen para restaurar la normalidad. Como resultado del flujo de agua hacia fuera de las células, éstas se deshidratan. El resultado es la sed que siempre acompaña a la pérdida de agua “pura”.

Sistemas de transporte

Las células utilizan dos procesos para desplazar sustancias hacia dentro y fuera de ellas, los llamados sistemas de transporte pasivo y activo. Cuando por una membrana celular pasan moléculas en uno y otro sentido sin el consumo de energía celular, se trata de un sistema de transporte pasivo. Esto incluye:

- Difusión simple.
- Difusión facilitada.
- Ósmosis.
- Filtración.

Por otro lado, un sistema de transporte activo requiere energía para desplazar sustancias dentro y fuera de la célula. Entre los sistemas de transporte activo se incluyen:

- Transporte activo con consumo de trifosfato de adenosina (ATP).
- Endocitosis.
- Exocitosis.

Difusión simple

El término “difusión simple” se refiere a un proceso por el cual una sustancia pasa por una membrana sin ayuda de un intermediario, como sería una proteína integral de membrana (figura 2-8). Agua, oxígeno, dióxido de carbono, etanol y urea son ejemplos de moléculas que cruzan las membranas celulares con facilidad por difusión simple. Atraviesan la bicapa lipídica directamente o a través de poros creados por determinadas proteínas integrales de la membrana. Las moléculas no polares pequeñas pueden difundirse directamente a través de la membrana plasmática. Un ejemplo de difusión simple es el intercambio de gases respiratorios (O_2 y CO_2) entre las células del saco alveolar y la sangre en los pulmones. La velocidad de difusión depende de varios factores, que se mencionan a continuación:

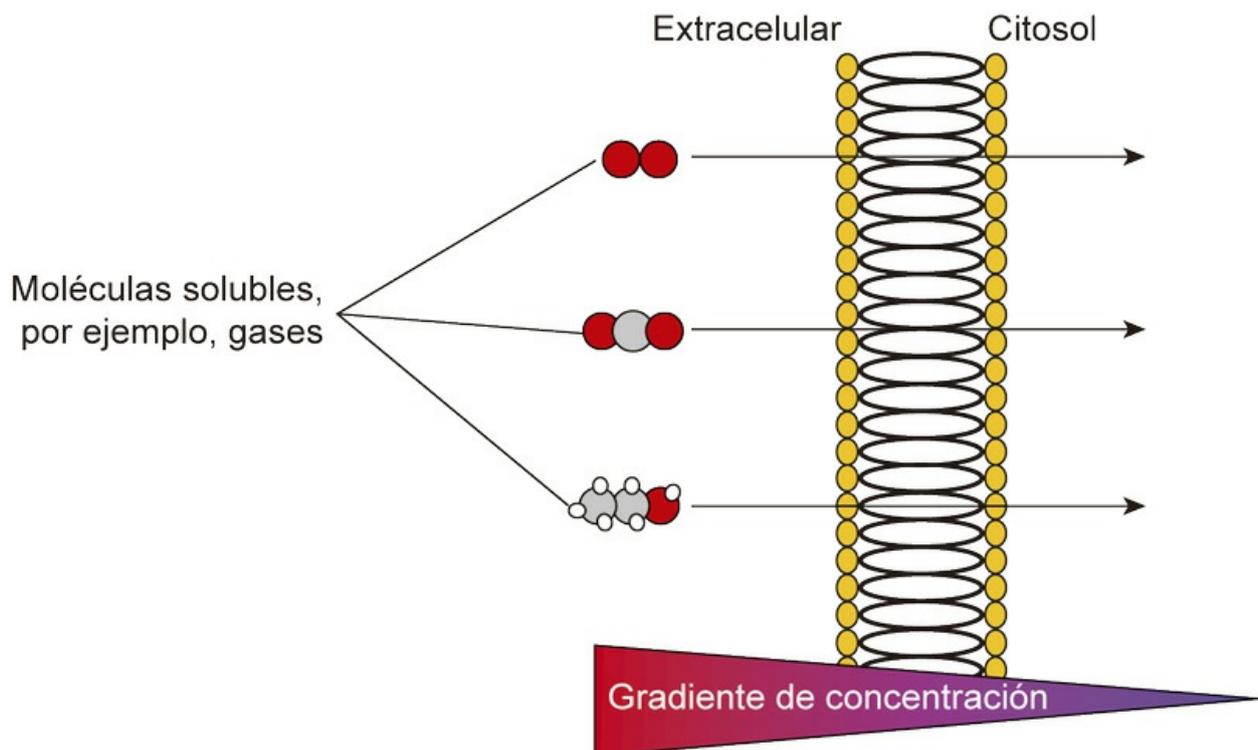


Figura 2-8. Difusión simple. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Los gases se difunden con rapidez y los líquidos lo hacen más lentamente.
- A altas temperaturas, la rapidez de difusión es mucho mayor.
- Las moléculas pequeñas, como las de glicerol, se difunden mucho más rápido que las moléculas más grandes, como las de ácidos grasos.
- Área superficial de la membrana celular sobre la cual la molécula puede actuar.
- Solubilidad de la molécula.
- Gradiente de concentración.

Difusión facilitada

La difusión facilitada (transporte facilitado) es un proceso de transporte pasivo (difusión) en el cual las moléculas se difunden a través de las membranas celulares con la ayuda de proteínas de transporte. Moléculas pequeñas sin carga pueden difundirse con facilidad a través de membranas celulares. Sin embargo, debido a la naturaleza hidrófoba de los lípidos que constituyen las membranas celulares, las moléculas hidrosolubles y los iones no pueden hacerlo; en cambio, reciben la ayuda de proteínas de transporte. Moléculas más grandes, como los aminoácidos, tampoco pueden atravesar la membrana celular por difusión simple y por lo tanto utilizan la difusión facilitada (figura 2-9). En este proceso no se usa energía celular directamente. La glucosa y los iones sodio y cloro son sólo unos pocos ejemplos de iones y moléculas que deben atravesar de manera eficiente la membrana plasmática. Por lo tanto, su transporte debe ser “facilitado” por proteínas dispuestas de lado a lado de la membrana, que constituyen una vía de paso para esas sustancias. Como la difusión simple, la difusión facilitada transporta sustancias de una zona con alta concentración a

otra con baja concentración.

Consideraciones clínicas

Administración de líquidos intravenosos

La administración excesiva de líquidos después de una cirugía puede causar diversos problemas. El aumento resultante en las demandas sobre el funcionamiento cardíaco, debido a un desplazamiento excesivo a la derecha en la curva de desempeño miocárdico de Starling, puede elevar la morbilidad cardíaca posoperatoria. La acumulación de líquido en los pulmones puede predisponer a los pacientes a neumonía e insuficiencia respiratoria. Las demandas de excreción renal aumentan, y la diuresis resultante puede ocasionar retención urinaria mediada por los efectos inhibitorios de los anestésicos y analgésicos en el funcionamiento vesical. La motilidad gastrointestinal puede verse inhibida, lo que prolonga el íleo posoperatorio. El exceso de líquido puede reducir la oxigenación tisular, con implicaciones para la curación de heridas (anastomóticas). Por último, la coagulación puede favorecerse con cristaloides, que predisponen a algunos pacientes a trombosis posoperatoria.

Las enfermeras deben estar al tanto de estas complicaciones al administrar líquidos intravenosos prescritos a los pacientes. Deben asegurarse de que el líquido fluya al ritmo indicado. Deben vigilar con regularidad al paciente y estar atentas a posibles signos y síntomas como la disnea, taquicardia y cianosis periférica.

Véase Holte *et al.* (2002).

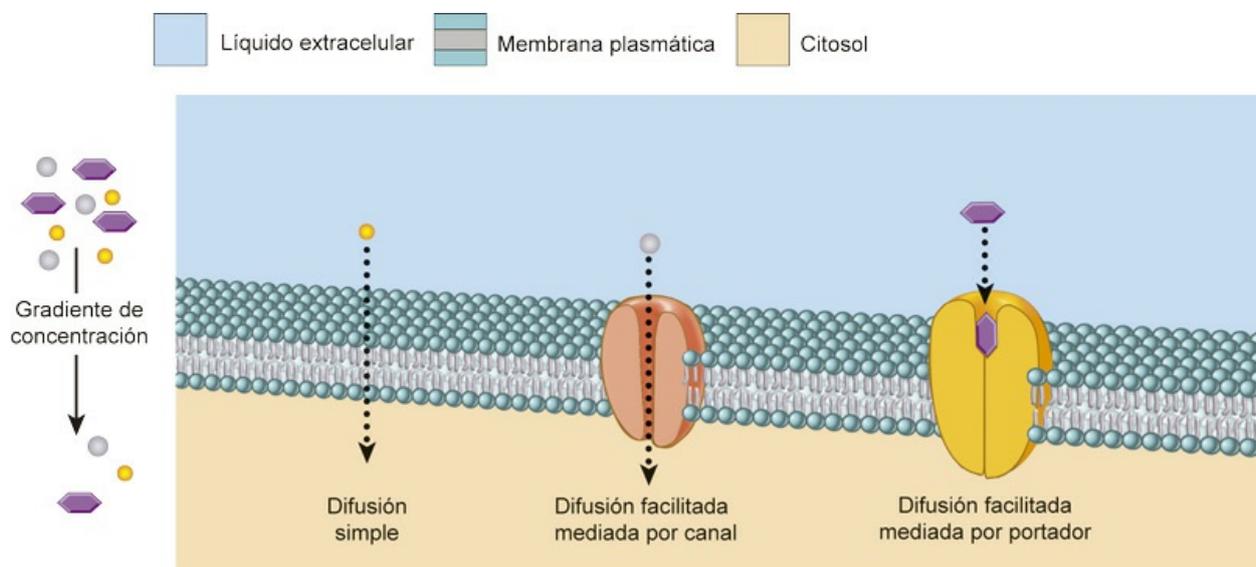


Figura 2-9. Difusión facilitada. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Ósmosis

La ósmosis es un proceso en el cual se desplaza agua de una zona con alta concentración de agua a otra con baja concentración por medio de una membrana selectivamente permeable. Una membrana selectivamente permeable es la que permite el paso sin restricciones de agua, pero no de moléculas o iones

de soluto. Se determinan las concentraciones relativas de agua con base en la cantidad de solutos disueltos en ella. Por ejemplo, una mayor concentración de sal en un lado de la membrana celular significa que hay menos espacio para moléculas de agua. Entonces se desplazará agua a través de la membrana celular, del lado en que hay mayor número de moléculas de agua hacia el lado de la célula en que hay menos moléculas de agua. Esto se conoce como presión osmótica. A mayor concentración del soluto a un lado de la membrana, mayor presión osmótica disponible para el movimiento del agua (Colbert *et al.*, 2012).

La presión osmótica puede ser excesiva y dañar la membrana celular; por ello, es importante que la célula tenga una presión relativamente constante entre el ambiente interno y el externo. Si la presión osmótica de un lado de la célula es mayor que en el otro, la célula podría experimentar cambios perjudiciales. Si un eritrocito (glóbulo rojo) se coloca en una solución con baja concentración de soluto sufrirá hemólisis, y si se coloca en un líquido con alta concentración de solutos experimentará crenación (encogimiento; figura 2-10). Por otra parte, si el eritrocito se coloca en una solución con presión osmótica relativamente constante entre el ambiente interno y el externo, no sufrirá ningún cambio. El movimiento neto de agua hacia dentro y fuera de la célula es mínimo.

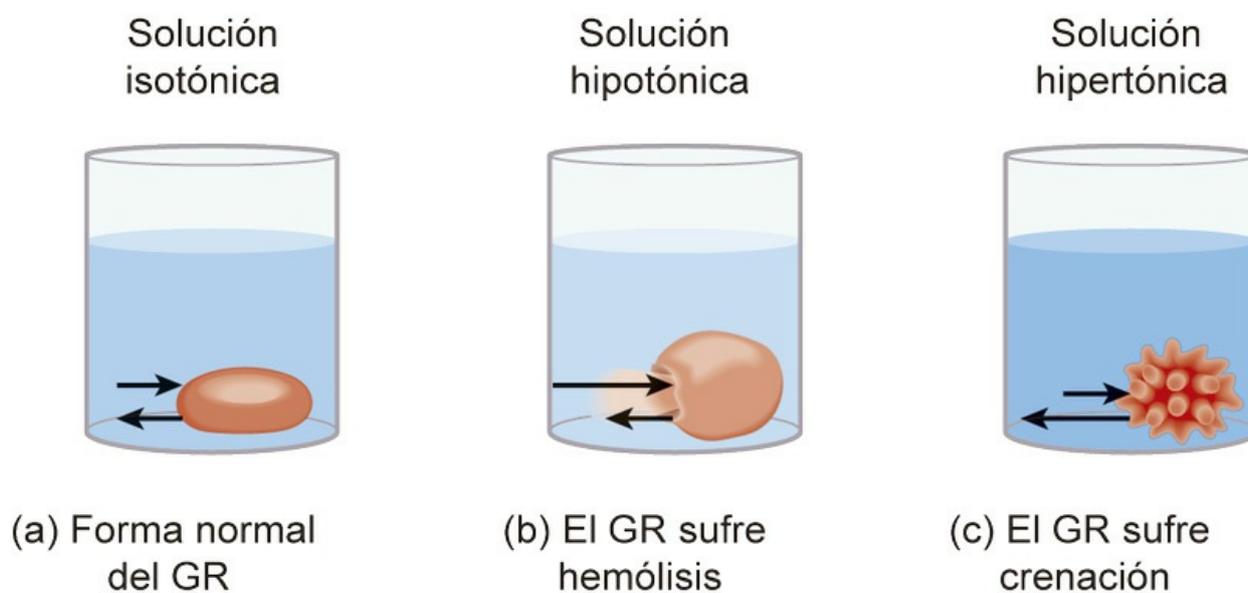


Figura 2-10. (a–c) Efecto de la concentración de soluto sobre un glóbulo rojo. Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Filtración

La filtración es un proceso en el cual se fuerza el paso de partículas pequeñas a través de una membrana semipermeable con la ayuda de presión hidrostática. Un ejemplo de filtración dentro del cuerpo humano se da en el extremo capilar de los vasos sanguíneos. Con la ayuda de la presión arterial, se fuerza la salida de líquido y solutos a través de la monocapa celular de los capilares hacia el espacio de LIS. Eritrocitos y moléculas grandes, como las de proteínas,

permanecen en los capilares. Otro ejemplo de filtración en el cuerpo humano es la que ocurre en los riñones. La presión arterial fuerza el paso de agua y productos de desecho disueltos, como la urea y el ácido úrico, hacia los túbulos renales durante la formación de la orina (véase el capítulo 10).

Sistema de transporte activo

La principal diferencia entre los sistemas de transporte activo y pasivo es que el primero utiliza energía celular para mover sustancias a través de una membrana semipermeable. La energía se obtiene de la rotura de ATP en difosfato de adenosina (ADP) y fosfato (figura 2-11). Los procesos en que se desplazan sustancias activamente son el transporte activo, la endocitosis y la exocitosis.

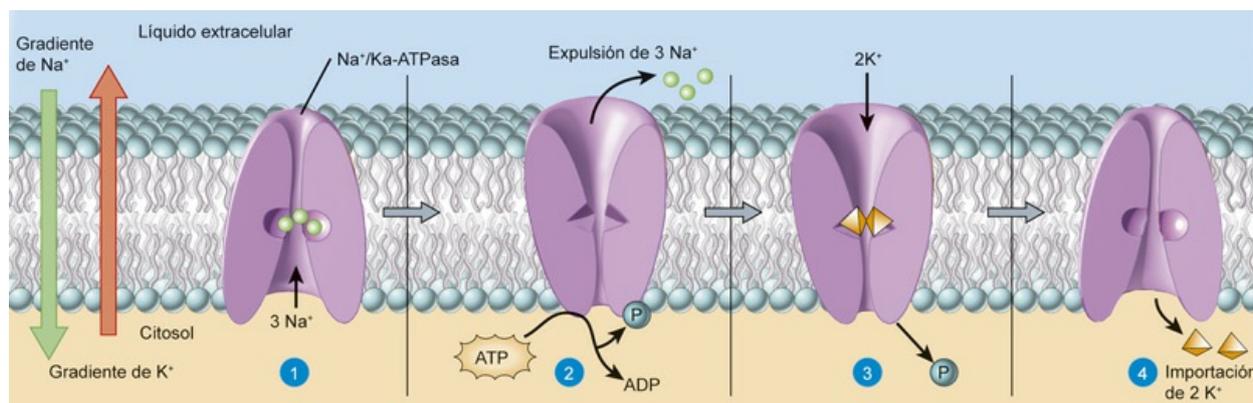


Figura 2-11. Sistema de transporte activo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Transporte activo

El transporte activo desplaza sustancias contra un gradiente de concentración, desde una zona de menor concentración a otra de mayor concentración. La célula debe invertir energía, que se libera de la rotura de adenosin trifosfato (ATP) en ADP y fosfato. El ATP es un compuesto formado por una base, un azúcar y tres grupos fosfato (trifosfato). Estos grupos fosfato son mantenidos unidos por enlaces de alta energía, los cuales al romperse liberan una gran cantidad de ésta. Una vez que uno de estos enlaces fosfato se rompe y se libera un grupo fosfato, el compuesto queda con dos grupos fosfato (difosfato), y hay un grupo fosfato disponible. Éste, a su vez, puede unirse a otra molécula de difosfato de adenosina, formando otra molécula de ATP (con energía almacenada en los enlaces fosfato), y el proceso completo continúa repitiéndose (Marieb, 2012).

En el cuerpo humano, los cuatro principales sistemas de transporte activo que se consideran al exponer la energía celular son:

- Bomba de sodio–potasio: se generan gradientes de concentración de sodio y potasio para producir energía eléctrica.
- Bomba de calcio: los iones calcio, esenciales para la contracción muscular, son

transportados al interior de las células musculares.

- Cotransporte coordinado de sodio: glucosa y aminoácidos se transportan activamente al interior de las células y al mismo tiempo el sodio es desplazado pasivamente por el cotransportador.
- Cotransporte coordinado de hidrógeno: se transporta activamente glucosa al interior de la célula, y al mismo tiempo el cotransportador introduce iones hidrógeno.

Endocitosis

La endocitosis es el proceso por el cual las células captan moléculas como proteínas del exterior, engulléndolas con su membrana celular. Es utilizada por todas las células del organismo, porque la mayoría de las sustancias importantes para ellas son polares y de molécula grande, por lo que no pueden atravesar la membrana plasmática, hidrófoba. Durante la endocitosis la membrana celular participa formando un pliegue, de modo que un nuevo compartimiento intracelular contiene la sustancia. Hay tres tipos de endocitosis.

- Pinocitosis (“la célula bebe”; figura 2-12):

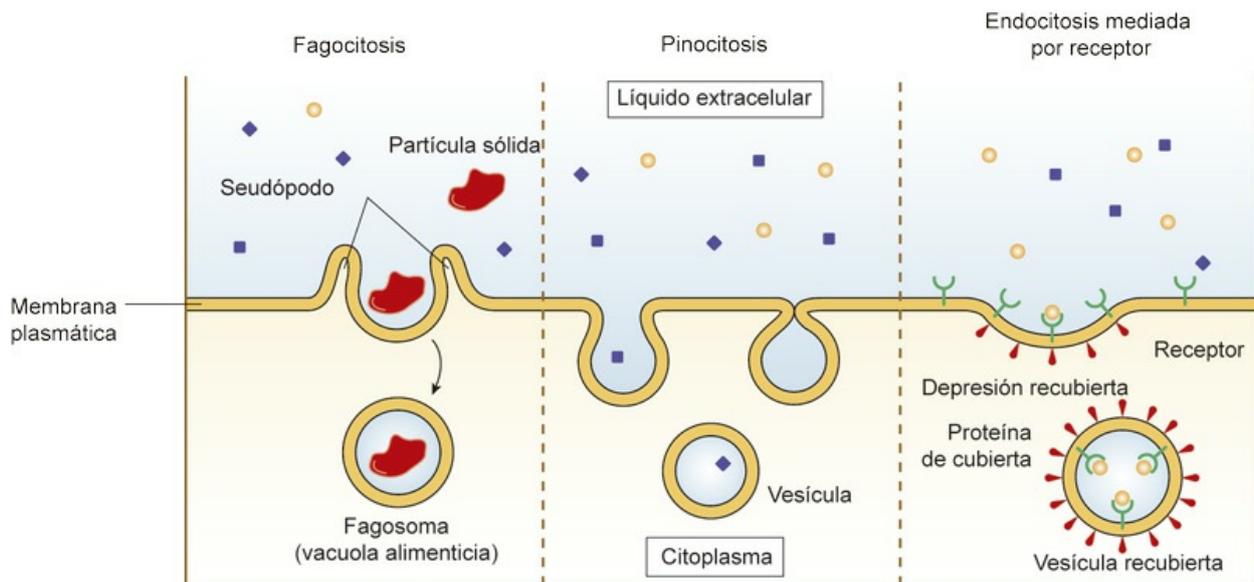


Figura 2-12. Pinocitosis, fagocitosis y endocitosis mediada por receptor.

Fuente: Peate y Nair (2011). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- La gota engullida es relativamente pequeña
 - Ocurre en casi todas las células
 - Ocurre continuamente.
- Fagocitosis (“la célula come”; figura 2-12):
 - Se ingieren partículas (p. ej., bacterias) presentes en el LEC
 - El endosoma es muy grande y se denomina fagosoma o vacuola

- Sólo ocurre en determinadas células especializadas (p. ej., neutrófilos, macrófagos).
 - Ocurre de manera esporádica.
- Endocitosis mediada por receptor (figura 2-12).
 - Receptores específicos se unen a moléculas grandes en el LEC.
 - La sustancia unida al receptor se denomina ligando.

Exocitosis

La **exocitosis** es un proceso que lleva sustancias del citoplasma al exterior de la célula. La vesícula intracelular con las sustancias ingeridas se fusiona con la membrana celular para eliminar desechos de la célula (figura 2-13). Este proceso también es utilizado por células nerviosas para liberar mensajeros químicos en la sinapsis neuronal. Las glándulas liberan proteínas por exocitosis. Las células glandulares son un órgano o grupo de células especializadas del organismo que produce y secreta una sustancia específica, por ejemplo, una hormona.

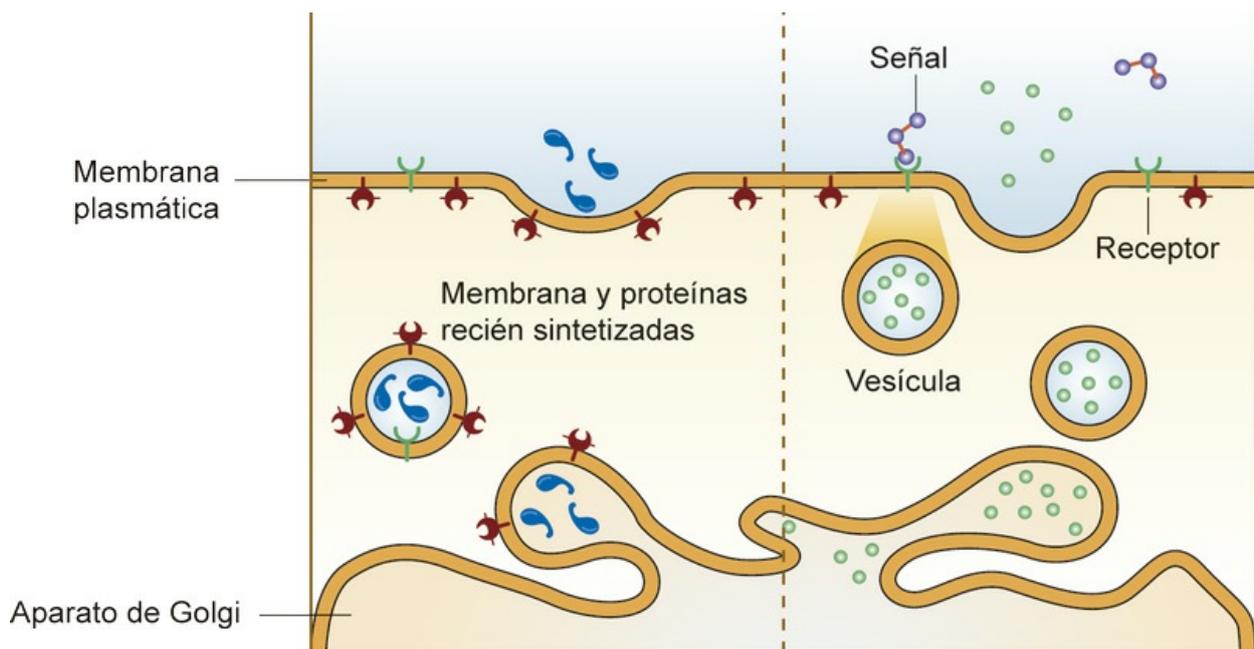


Figura 2-13. Exocitosis. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Muchas células del cuerpo utilizan la exocitosis para liberar enzimas u otras proteínas que actúan en otras regiones del organismo, o para liberar moléculas que ayudan a las células a comunicarse entre sí. Por ejemplo, grupos de células α y β en los islotes de Langerhans del páncreas secretan las hormonas glucagón e insulina, respectivamente. Estas enzimas regulan las concentraciones de glucosa en todo el organismo. Cuando la concentración de glucosa aumenta en la sangre, las células β son estimuladas para producir y secretar más insulina por

exocitosis. Cuando la insulina se une al hígado o al músculo, estimula la captación de glucosa por estas células. La exocitosis desde otras células en el páncreas libera enzimas digestivas en el intestino.

Las células también se comunican entre sí, mediante exocitosis, más directamente a través de los productos que secretan. Por ejemplo, una neurona es inducida a emitir un pulso eléctrico mediante neurotransmisores. Éstos se almacenan en vesículas y se ubican cerca de la cara citoplásmica de la membrana plasmática. A la señal apropiada, las vesículas que contienen los neurotransmisores deben hacer contacto con la membrana plasmática y secretar su contenido en la unión sináptica (el espacio entre dos neuronas), a fin de que la otra neurona reciba esos neurotransmisores.

Electrólitos

Desde el punto de vista químico, los electrólitos son sustancias que se ionizan en solución y adquieren la capacidad de conducir la electricidad. Hay electrólitos presentes en el cuerpo humano, y el equilibrio electrolítico es esencial para el funcionamiento normal de las células y los órganos.

El equilibrio de los líquidos (hídrico) está vinculado con el equilibrio electrolítico. Los electrólitos son compuestos que se disocian en agua para formar partículas con carga llamadas iones (LeMone *et al.*, 2011). Algunos de estos son el potasio (K^+), sodio (Na^+), cloruro (Cl^-), magnesio (Mg^{2+}) y fosfato ácido (HPO_4^{2-}). Los electrólitos tienen carga positiva o negativa. Los iones con carga positiva se llaman cationes (como Na^+ y K^+), mientras que los iones con carga negativa se denominan aniones (como Cl^- y HCO_3^-). Recuérdese que un anión y un catión se combinan para formar un compuesto; por ejemplo, potasio (K^+) y cloruro (Cl^-) se combinan para formar el cloruro de potasio (KCl). La composición de los electrólitos difiere entre los compartimientos intracelular y extracelular (figura 2-14).

Manejo de medicamentos

Potasio intravenosos

Estas soluciones intravenosas están indicadas para su uso en adultos y niños, como reposición de electrólitos, calorías y soluciones para rehidratación. La dosis debe ser indicada por el médico y depende de la edad, peso, estado clínico del paciente y determinaciones del laboratorio. Son esenciales las evaluaciones clínicas y de laboratorio frecuentes ante posibles cambios en la glucosa sanguínea y en las concentraciones de electrólitos, así como el equilibrio hidroelectrolítico durante un tratamiento parenteral prolongado. Algunos aditivos pueden ser incompatibles. Siempre debe consultarse a un farmacéutico acerca de la compatibilidad de los aditivos. Se mezclan cuidadosamente antes de administrar el líquido.

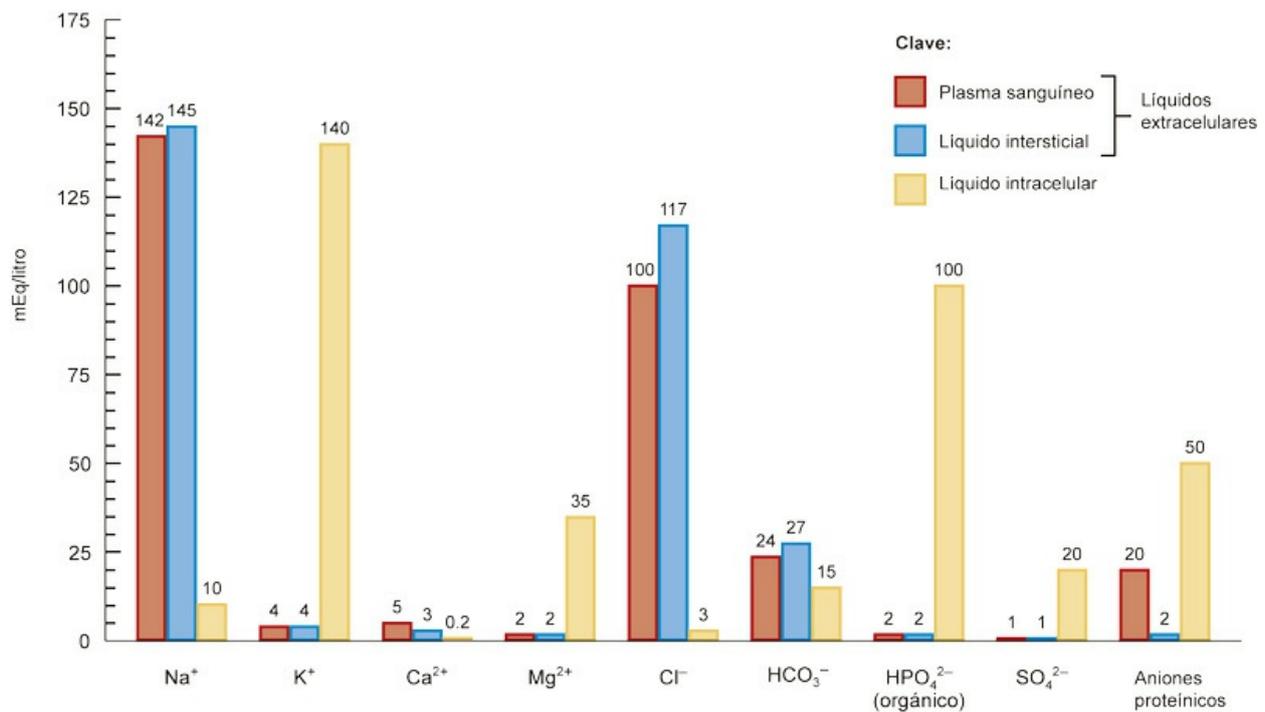


Figura 2-14. Electrólitos de los compartimientos intracelular y extracelular.
Fuente: Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Funciones de los electrolitos

Los electrolitos son compuestos que se disocian en iones cuando se colocan en agua, lo cual permite a ésta conducir la corriente eléctrica. Los electrolitos son sales y minerales, como el sodio, potasio, cloro y bicarbonato, que se encuentran en la sangre. Pueden conducir impulsos eléctricos en el organismo. Los electrolitos tienen numerosas funciones en el cuerpo:

- Regulan el desplazamiento de líquido entre compartimientos.
- Regulan la concentración de iones hidrógeno para un funcionamiento celular normal.
- Tienen un cometido vital en los potenciales de membrana y los potenciales de acción
- Son esenciales para el funcionamiento neuronal.

Para funcionar normalmente, el cuerpo debe ser capaz de mantener las concentraciones de electrolitos dentro de límites muy estrechos. Estos límites son controlados principalmente por hormonas. El cuerpo mantiene las concentraciones de electrolitos en cada compartimiento (células, tejidos, órganos) desplazando iones hacia dentro o fuera de las células con base en señales aportadas por las hormonas. Si el equilibrio electrolítico se altera, pueden presentarse trastornos. Puede presentarse un desequilibrio electrolítico si la persona:

- Usa determinadas sustancias, en especial laxantes, diuréticos o ambos, por periodos prolongados.

- Se deshidrata por sudación profusa, vómito, diarrea crónica, nutrición muy deficiente, etc.
- Tiene ciertos trastornos del corazón, hígado o riñón.
- Recibe líquidos intravenosos en cantidades inapropiadas.

La pérdida de electrolitos puede tener graves consecuencias para el organismo. En la deshidratación grave, puede desencadenar problemas circulatorios como la taquicardia (latido cardiaco rápido) y trastornos del sistema nervioso, como pérdida de la conciencia y choque. Véase en el cuadro 2-2 un resumen de los electrolitos y sus funciones.

Cuadro 2-2. Principales electrolitos y sus funciones

| Electrolitos | Valores normales en el LEC (mMol L ⁻¹) | Función | Principal distribución |
|------------------------------|--|--|--|
| Sodio (Na ⁺) | 135 a 145 | Catión importante en la generación de potenciales de acción. Es fundamental en el equilibrio hidroelectrolítico. Aumenta la permeabilidad de la membrana plasmática. Ayuda al funcionamiento del músculo esquelético. Estimula la conducción de los impulsos nerviosos. Mantiene el volumen sanguíneo. | Principal catión del LEC |
| Potasio (K ⁺) | 3.5 a 5 | Catión importante para establecer el potencial de membrana en reposo. Regula el equilibrio ácido-base. Mantiene el volumen del LIC. Ayuda al funcionamiento del músculo esquelético. Promueve la transmisión de los impulsos nerviosos. | Principal catión del LIC |
| Calcio (Ca ²⁺) | 135 a 145 | Importante factor de la coagulación. Participa en la liberación de neurotransmisores en las neuronas. Mantiene el tono muscular y la excitabilidad de tejido nervioso y muscular. Promueve la transmisión de impulsos nerviosos. Ayuda a la absorción de la vitamina B12. | Se encuentra principalmente en el LEC |
| Magnesio (Mg ²⁺) | 0.5 a 1.0 | Ayuda al funcionamiento normal de nervios y músculos; mantiene la frecuencia cardiaca regular, controla la glucosa sanguínea y la presión arterial. Esencial para la síntesis de proteínas | Se distribuye principalmente en el LIC |
| | | | |

| | | | |
|---|-----------|--|--|
| Cloruro (Cl ⁻) | 98 a 117 | Mantiene el equilibrio de aniones en diferentes compartimientos hídricos. Se combina con hidrógeno en las glándulas mucosas gástricas para formar ácido clorhídrico. Ayuda a mantener el equilibrio hídrico al regular la presión osmótica | Principal anión del LEC |
| Bicarbonato (HCO ₃ ⁻) | 24 a 31 | Principal amortiguador de iones hidrógeno en el plasma. Mantiene el equilibrio entre cationes y aniones de LIC y LEC | Se distribuye principalmente en el LEC |
| Fosfato ácido (HPO ₄ ²⁻) | 0.8 a 1.1 | Esencial para la digestión de proteínas, carbohidratos y grasas y la absorción de calcio. Esencial para la formación de hueso | Se encuentra principalmente en el LIC |
| Sulfato (SO ₄ ²⁻) | 0.5 | Participa en la detoxificación de fenoles, alcoholes y aminas | Se halla principalmente en el LIC |

Consideraciones clínicas

Equilibrio hidroelectrolíticos

En la práctica clínica, la terapia hidroelectrolítica se emprende para cubrir necesidades de mantenimiento o para reponer pérdidas o déficit graves. Las pérdidas corporales de agua, electrolitos o ambos pueden deberse a varias causas, como el vómito, diarrea, sudoración profusa, fiebre, insuficiencia renal crónica, tratamiento con diuréticos, cirugía entre otras. El tipo de tratamiento instituido (oral o parenteral) y el contenido del líquido administrado dependen de las necesidades específicas del paciente.

Por ejemplo, un paciente que recibe diuréticos puede simplemente requerir un suplemento oral diario de potasio junto con un ingreso adecuado de agua. Un atleta puede requerir rehidratación con o sin electrolitos agregados. Los pacientes hospitalizados por lo común reciben terapia hidroelectrolítica de mantenimiento parenteral para apoyar el funcionamiento metabólico normal. En casos de déficit grave, puede requerirse la reposición expedita y sustancial de líquidos y electrolitos intravenosos para reponer pérdidas agudas de volumen debidas a cirugía, traumatismo, quemaduras o choque.

Caso clínico

Hiponatremia

María llegó a la sala de urgencias con hiponatremia grave. Según su hija, cayó y tenía dificultades motoras. No podía caminar y su habla era difícil de entender. Pese a estos síntomas, se le vio conversando con su hija en la habitación.

La paciente había estado presentando síntomas gripales las dos semanas previas, y vomitó los cuatro días anteriores. Se quejó de dolor abdominal una vez durante la valoración del médico de urgencias, quien ordenó un examen sanguíneo de urea y electrolitos. El resultado indicó que su concentración de sodio era de 100 mMol L⁻¹. Durante la valoración, María informó que había estado tomando grandes cantidades de

agua para depurar toxinas de su organismo.

Comenzó a administrársele solución salina hipertónica normal. Se realizó una serie de pruebas sanguíneas a intervalos para revisar su urea y electrolitos.

Comenzó a administrársele solución salina hipertónica normal. Se realizó una serie de pruebas sanguíneas a intervalos para revisar su urea y electrolitos.

- Hacia las 10:20 esa mañana, el sodio había aumentado a 107 mMol L⁻¹.
- A las 11:40 se repitieron los análisis. A las 12:20 los resultados indicaban que el sodio había aumentado a 114 mMol L⁻¹.
- Hacia las 15:00, la concentración de sodio de la paciente era de 120 mMol L⁻¹, y de manera gradual volvió a los valores normales.

Durante su estancia en el hospital, María siguió su recuperación constante y fue dada de alta después de recibir valoración nutricional y orientación del nutriólogo.

Véase American College of Emergency Physicians (n.d.).

Caso clínico

Artritis aguda por pirofosfato de calcio

Es normal encontrar cristales de calcio en partes del cuerpo como los huesos y dientes, pero cuando se ubican en las articulaciones y sus alrededores pueden causar accesos repentinos (agudos) de inflamación dolorosa. Los cristales que más problemas causan son los de pirofosfato de calcio (CPP) y los de apatita, y los trastornos que ocasionan se denominan en conjunto enfermedades por cristales de calcio. En muchos casos estos cristales se forman en el cartílago o tendones por lo demás normales, sin causar ningún síntoma. Si los cristales están embebidos profundamente en los tejidos, no suelen afectar su funcionamiento. Sin embargo, pueden provocar accesos de inflamación dolorosa si se desalojan de:

- El cartílago hacia la cavidad articular (figura 2-15).

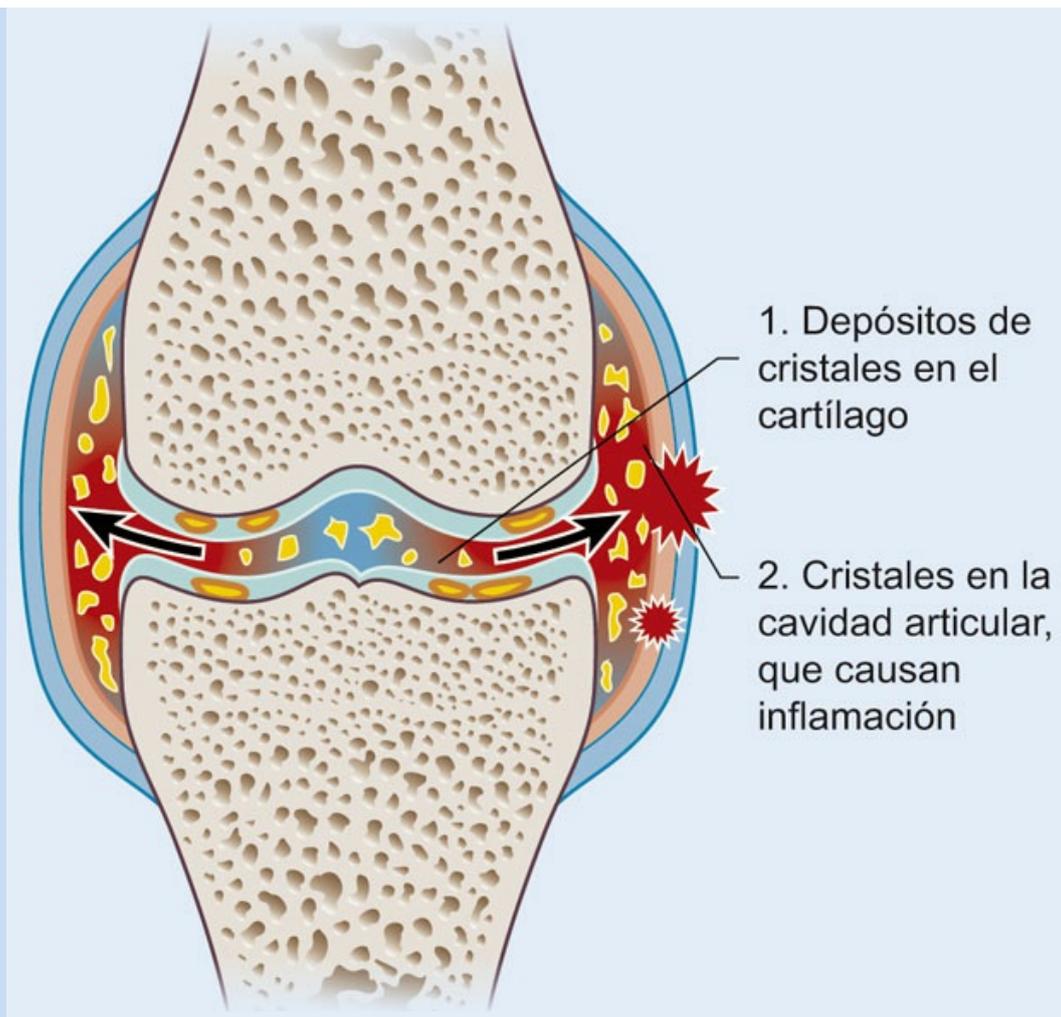


Figura 2-15. Cristales en la cavidad articular. *Fuente:* Adaptada de www.arthritisresearchuk.org.

- Un tendón hacia los tejidos blandos circundantes (figura 2-16).



Figura 2-16. Cristales en el tejido. Fuente: Adaptada de www.arthritisresearchuk.org.

Este desplazamiento se denomina “dispersión de cristales”, y la inflamación se debe a que los cristales se ven expuestos al sistema inmunitario. Cuando los cristales de CPP se depositan en la cavidad articular se habla de artritis por CPP aguda. Los cristales causan inflamación en el revestimiento articular, lo que ocasiona dolor y tumefacción articulares. Este trastorno se llamaba antes “pseudogota” (“falsa gota”) porque la inflamación recuerda a la gota (un trastorno causado por cristales de urato).

El tratamiento incluye antiinflamatorios no esteroides, como ibuprofeno, naproxeno o diclofenaco, que aminoran el dolor de un acceso agudo. Cuando el dolor es intenso, esos fármacos deben prescribirse a dosis altas. Otro tratamiento que se prescribe en ocasiones es la colchicina. Este fármaco también se emplea para tratar la gota aguda, porque reduce la interacción entre los cristales y el sistema inmunitario.

Es posible extraer líquido de la articulación e inyectar esteroide para tratar la inflamación. Esto reduce con rapidez la alta presión en la cavidad articular, que causa el dolor extremo. Esta intervención, rápida y simple, suele dar alivio inmediato. Por lo común, una vez que ha extraído líquido, el médico inyecta un pequeño volumen (1 o 2 mL) de un esteroide de efecto prolongado en la articulación por la misma aguja. Esto ayuda a reducir la inflamación del recubrimiento articular y previene la acumulación de más líquido.

Véase Arthritis Research UK (n.d.).

Hormonas que regulan agua y electrólitos

Las cuatro principales hormonas que regulan el equilibrio hidroelectrolítico son la vasopresina (hormona antidiurética, ADH), aldosterona, péptido natriurético auricular (PNA) y paratirina (hormona paratiroidea) (Thibodeau and Patton, 2011).

Vasopresina

La vasopresina (ADH) es una hormona peptídica, y su principal función es regular el equilibrio hídrico. Es producida en el hipotálamo por neuronas llamadas osmorreceptores, y se almacena en el lóbulo posterior de la hipófisis (neurohipófisis). Los osmorreceptores son sensibles a la osmolalidad del plasma y al decremento del volumen sanguíneo. Los órganos blanco de la ADH son los riñones. La ADH actúa en el túbulo contorneado distal y los conductos colectores, haciendo los túbulos más permeables al agua y por lo tanto elevando la reabsorción de agua. Esto ocurre mediante la inserción de canales de agua adicionales (acuaporina-2s) en la membrana apical de los túbulos y las células epiteliales de los conductos colectores. Las acuaporinas permiten la salida de agua de la nefrona (y de los túbulos contorneados distales y los túbulos conductores) hacia las células, con lo que incrementan la cantidad de agua que se reabsorbe del filtrado. Así, cuando una persona tiene déficit de agua, como en la deshidratación, se libera más ADH, lo que eleva la reabsorción de agua y reduce su pérdida. La secreción de ADH es reducida por descenso de la presión osmótica del plasma, aumento de volumen del LEC y consumo de alcohol. El nombre vasopresina se debe a que esta hormona causa la constricción de las arteriolas, lo que eleva la presión arterial.

Manejo de medicamentos

Diabetes insípida y vasopresina (ADH)

La diabetes insípida es un trastorno raro en el que se altera el mecanismo que regula la concentración de agua. Es causada por problemas con la hormona ADH. La desmopresina es la versión sintética de la ADH, y es más potente que la ADH producida naturalmente por el organismo. Actúa del mismo modo que la ADH natural, impidiendo que los riñones produzcan orina cuando la concentración de agua es baja. La desmopresina puede administrarse como aerosol nasal o tabletas. Su uso es muy seguro. Tiene pocos efectos adversos, como:

- Cefalea.
- Dolor estomacal.
- Malestar.
- Congestión o secreción nasales.
- Hemorragia nasal.

Si se administra desmopresina en exceso o se bebe mucho líquido mientras se emplea el fármaco, el cuerpo puede retener demasiada agua. Las posibles consecuencias son:

- Cefalea.
- Mareo.
- Meteorismo.
- Hiponatremia (una concentración peligrosamente baja de sodio en la sangre).

Véase NHS Choices (2014).

Aldosterona

La aldosterona es una hormona esteroidea producida por las glándulas suprarrenales, situadas arriba de cada riñón. La glándula suprarrenal se divide en corteza y médula. La corteza produce la hormona esteroidea aldosterona, la cual regula el equilibrio hidroelectrolítico, incrementando la reabsorción de sodio y agua y la liberación de potasio en los riñones. Esto eleva el volumen sanguíneo, con lo que aumenta la presión arterial. La aldosterona estimula la secreción de H^+ por las células intercalares en el conducto colector, con lo que regula los valores de bicarbonato (HCO_3^-) en el plasma y de este modo mantiene el equilibrio acidobásico y electrolítico. Los principales sitios de acción de la aldosterona son los túbulos renales y las células epiteliales de los conductos colectores.

Péptido natriurético auricular (PNA)

El PNA, factor natriurético auricular, hormona natriurética auricular o atriopeptina, es un potente vasodilatador, una hormona polipeptídica secretada por células de músculo cardíaco (miocitos). Los miocitos producen, almacenan y liberan PNA en respuesta al estiramiento de las aurículas cardíacas. El PNA participa en el control homeostático del agua, sodio, potasio y grasa (tejido adiposo). Es liberado por los miocitos en las cámaras superiores (aurículas) del corazón (miocitos auriculares), en respuesta a la hipertensión arterial. El PNA reduce las cargas de agua, sodio y grasa en el aparato circulatorio, con lo que aminora la presión arterial. Estimula la vasodilatación, incrementa la filtración glomerular y la excreción de sal y agua, y bloquea la liberación y/o las acciones de varias hormonas, incluidas la angiotensina II, aldosterona y vasopresina. Los valores de PNA suelen estar elevados en situaciones de volumen hídrico excesivo o hipertensión, y dicha hormona tiene una importante función en la regulación del equilibrio hidroelectrolítico.

Paratirina

La paratirina u hormona paratiroidea regula la concentración sérica de calcio a través de sus efectos sobre el hueso, riñón e intestino, vía los riñones. Aunque las cuatro glándulas paratiroideas son muy pequeñas, tienen un abundante riego sanguíneo. Esto es muy conveniente ya que son necesarias para vigilar la concentración de calcio en la sangre las 24 h del día. Cuando la sangre pasa por

las glándulas paratiroides, éstas detectan la cantidad de calcio presente y reaccionan produciendo más o menos paratirina. Cuando la concentración sanguínea de calcio es demasiado baja, las células de las glándulas paratiroides lo detectan y producen más paratirina. Una vez que esta hormona se libera en la sangre, circula para actuar en varios lugares, incrementando la cantidad de calcio en la sangre (p. ej., liberando calcio de los huesos). Cuando el valor sanguíneo de calcio es excesivo, las células de las glándulas paratiroides producen menos paratirina (o dejan de producirla por completo), lo cual permite que la concentración de calcio disminuya. Este mecanismo de realimentación opera de manera constante, con lo que mantiene dicho ion (y la paratirina) en un intervalo “normal” muy estrecho. En una persona sana con glándulas paratiroides normales, éstas se activarán y desactivarán docenas de veces al día, en un intento de mantener el valor de calcio en el intervalo normal, a fin de que el cerebro y los músculos funcionen correctamente.

Conclusión

Las células son las estructuras vivas básicas del organismo, y contienen proteínas especiales que realizan funciones específicas a fin de mantener la homeostasis dentro de la célula. Todas las células (con excepciones) tienen cuatro partes básicas: citoplasma, membrana plasmática, núcleo y nucléolo. Aunque la membrana celular se encuentra en un estado de flujo constante, permite el paso de sustancias hacia dentro y fuera de la célula. El núcleo es el lugar donde se almacena la información genética. Las células utilizan diversos sistemas de transporte para movilizar nutrientes, oxígeno, electrolitos, agua y hormonas al interior de la célula y productos de desecho del metabolismo celular, como dióxido de carbono, urea y ácido úrico hacia fuera de la célula. Los electrolitos y las hormonas cumplen una función vital para mantener la homeostasis. Muchas hormonas, como la vasopresina (ADH), aldosterona y péptido natriurético auricular, ayudan a regular el equilibrio hídrico y a mantener la homeostasis.

Los líquidos corporales consisten en el agua del organismo y las sustancias disueltas en ella. El agua es el principal componente del cuerpo humano y, en cualquier individuo, el contenido de agua corporal permanece notablemente constante de un día a otro. Ocurre un movimiento constante de líquido entre compartimientos. Hay dos compartimientos principales de líquido corporal: el interior y el exterior de las células (intracelular y extracelular). El compartimiento extracelular puede dividirse en (a) el plasma, que es LEC dentro de los vasos sanguíneos; (b) el LIS, que es LEC fuera de los vasos sanguíneos y separado del plasma por las paredes de los capilares; y (c) líquidos transcelulares, que son líquidos con funciones especializadas. Entre ellos se incluyen líquido sinovial (que lubrica las articulaciones), líquido cefalorraquídeo (que amortigua y nutre el encéfalo), y los humores acuoso y vítreo de los ojos (que mantienen la forma del globo ocular y la integridad de sus estructuras). Los líquidos transcelulares están separados del plasma por una membrana celular, que participa en su formación, además de la pared capilar.

Glosario

Citoplasma. Líquido presente dentro de la célula.

Compartimientos. Espacios.

Difosfato de adenosina. El ADP es el producto final que resulta cuando el ATP pierde uno de sus grupos fosfato localizados en el extremo de la molécula.

Difusión facilitada. Difusión con ayuda de una proteína de transporte.

Difusión. Forma más común de transporte pasivo de materiales; es la capacidad de gases, líquidos y solutos de dispersarse al azar y ocupar cualquier espacio disponible, de modo que hay una distribución uniforme.

Electrólitos. Sustancias que se disocian en agua formando iones.

Endocitosis. Proceso mediante el cual las células ingieren materias alimenticias y microorganismos infecciosos.

Exocitosis. Mecanismo de transporte de materiales fuera de las células.

Extracelular. Espacio fuera de la célula.

Hidrófilo Afín al agua.

Hidrófobo. Repelente al agua.

Hipertónica. Solución que tiene grandes cantidades disueltas de solutos.

Hipotónica. Solución que tiene baja concentración de solutos.

Intersticial. Espacio entre células.

Intracelular. Espacio dentro de la célula.

Membrana plasmática. Capa externa de la célula.

Organelos. Partes estructurales y funcionales de una célula.

Ósmosis. Movimiento de agua a través de una membrana selectivamente permeable, de modo que las concentraciones de sustancias disueltas en el agua son las mismas a ambos lados de la membrana.

Presión osmótica. Presión que debe ejercerse en una solución para impedir el paso de agua hacia ella a través de una membrana selectivamente permeable.

Proteínas de transporte. Moléculas que ayudan al movimiento de iones a través de una membrana celular.

Reacciones químicas. Reacciones en que se forman, cambian o rompen moléculas.

Transporte activo. Proceso en el cual se desplazan sustancias contra un gradiente de concentración con consumo de energía celular.

Transporte pasivo. Proceso por el cual se desplazan sustancias a favor de su gradiente de concentración sin consumo de energía celular.

Trifosfato de adenosina. Compuesto necesario como fuente de energía celular.

Bibliografía

- American College of Emergency Physicians (n.d.) *Hyponatremia case review*. <http://www.acep.org/Clinical-Practice-Management/Hyponatremia-Case-Review/> (accessed 12 November 2015).
- Arthritis Research UK (n.d.) *What are calcium crystal diseases?* <http://www.arthritisresearchuk.org/arthritis-information/conditions/calcium-crystal-diseases/what-is-pseudogout.aspx> (accessed 12 November 2015).
- Colbert, B.J., Ankney J. and Lee, K.T. (2012) *Anatomy and Physiology for Health Professionals: An Interactive Journey*, 2nd edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Holte, K., Sharrock, N.E. and Kehlet, H. (2002) Pathophysiology and clinical implications of perioperative fluid excess. *British Journal of Anaesthesia* **89**: 622–632.
- Jenkins, G. and Tortora, G.J. (2013) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*, 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- LeMone, P., Burke, K. and Bauldaoff, G. (2011) *Medical–Surgical Nursing: Critical Thinking in Client Care*, 5th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- Marieb, E.N. (2012) *Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. San Francisco, CA: Pearson.
- Marieb, E.N. and Hoehn, K. (2013) *Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Nair, M. and Peate, I. (2009) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- NHS Choices (2014) *Diabetes Insipidus – Treatment*. <http://www.nhs.uk/Conditions/Diabetes-insipidus/Pages/Treatment.aspx> (accessed 12 November 2015).
- O’Connor, C.M. and Adams, J.U. (2010) *Essentials of Cell Biology*. Cambridge, MA: NPG Education, 2010. www.nature.com/scitable/topicpage/cell-membranes-14052567.
- Peate, I. and Nair, M. (2011) *Fundamentals of Anatomy and Physiology for Student Nurses*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Rull, G. (2013) *Diuretics*. <http://www.patient.co.uk/doctor/diuretics> (accessed 12 November 2015).
- Thibodeau, G.A. and Patton, K.T. (2011) *Anatomy and Physiology*, 8th edn. St Louis, MO: Elsevier Mosby.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Lecturas adicionales

Hiperpotasemia

Lederer, E., Nayak, V., Alsauskas, Z.C. and Mackelaite, L. (2015) *Hyperkalemia Treatment and Management*. <http://emedicine.medscape.com/article/240903-treatment> (accessed 12 November 2015).

Sitio de noticias del mundo médico donde el lector podrá encontrar más información sobre diversas enfermedades y afecciones.

Diabetes insípida

NHS Choices (2014) *Introduction*. <http://www.nhs.uk/conditions/diabetes-insipidus/Pages/Introduction.aspx> (accessed 12 November 2015).

Útil sitio web de los NHS con información actualizada sobre enfermedades con las que el lector se encontrará en su práctica.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. Si se colocan glóbulos rojos en agua pura sufrirán:
 - (a) Crenación y muerte
 - (b) Tumefacción y estallamiento
 - (c) Ningún cambio
 - (d) Tumefacción inicial y luego vuelta al tamaño normal una vez que se alcanza el equilibrio.
2. La membrana celular es:
 - (a) Una doble capa de proteína que encierra el plasma
 - (b) Una célula con una capa simple.
 - (c) Membrana formada por carbohidratos.
 - (d) La capa de fosfolípidos que envuelve a la célula.
3. ¿Cuál de los siguientes enunciados es verdadero?
 - (a) La rapidez de difusión depende de la temperatura.
 - (b) La difusión es mayor cuando el gradiente de concentración es mayor.
 - (c) El peso de la molécula no afecta la difusión.
 - (d) La difusión es mayor cuando la temperatura corporal es baja.
4. En una célula, los iones calcio se almacenan en:
 - (a) El núcleo.
 - (b) El aparato de Golgi.
 - (c) Las mitocondrias.
 - (d) El retículo endoplásmico liso y el rugoso.
5. ¿Cuál de las siguientes *no* es una estructura subcelular?
 - (a) Material intercelular.
 - (b) Citoplasma.
 - (c) Membranas.
 - (d) Organelos.
6. ¿Cuál de los siguientes sistemas de transporte requiere energía?
 - (a) Difusión simple.
 - (b) Ósmosis.
 - (c) Bomba de sodio y potasio.
 - (d) Difusión facilitada.
7. Los fosfolípidos:
 - (a) Sólo contienen colas polares.
 - (b) Son hidrófilos e hidrófobos.
 - (c) Sólo contienen colas no polares.
 - (d) Tienen las colas dirigidas hacia el exterior.
8. Las mitocondrias:
 - (a) Contienen algunos de los genes necesarios para su propia multiplicación.
 - (b) Sintetizan proteínas que se usarán fuera de la célula.
 - (c) Tienen la misma forma todo el tiempo.
 - (d) Son estructuras con membrana simple implicadas en la degradación de carbohidratos.

9. El líquido se transporta por un proceso llamado:
- (a) Ósmosis.
 - (b) Difusión.
 - (c) Mitosis.
 - (d) Exocitosis.
10. En una solución hipertónica las células sufren:
- (a) Crenación y muerte.
 - (b) Tumefacción y estallamiento.
 - (c) Ningún cambio.
 - (d) a y b.

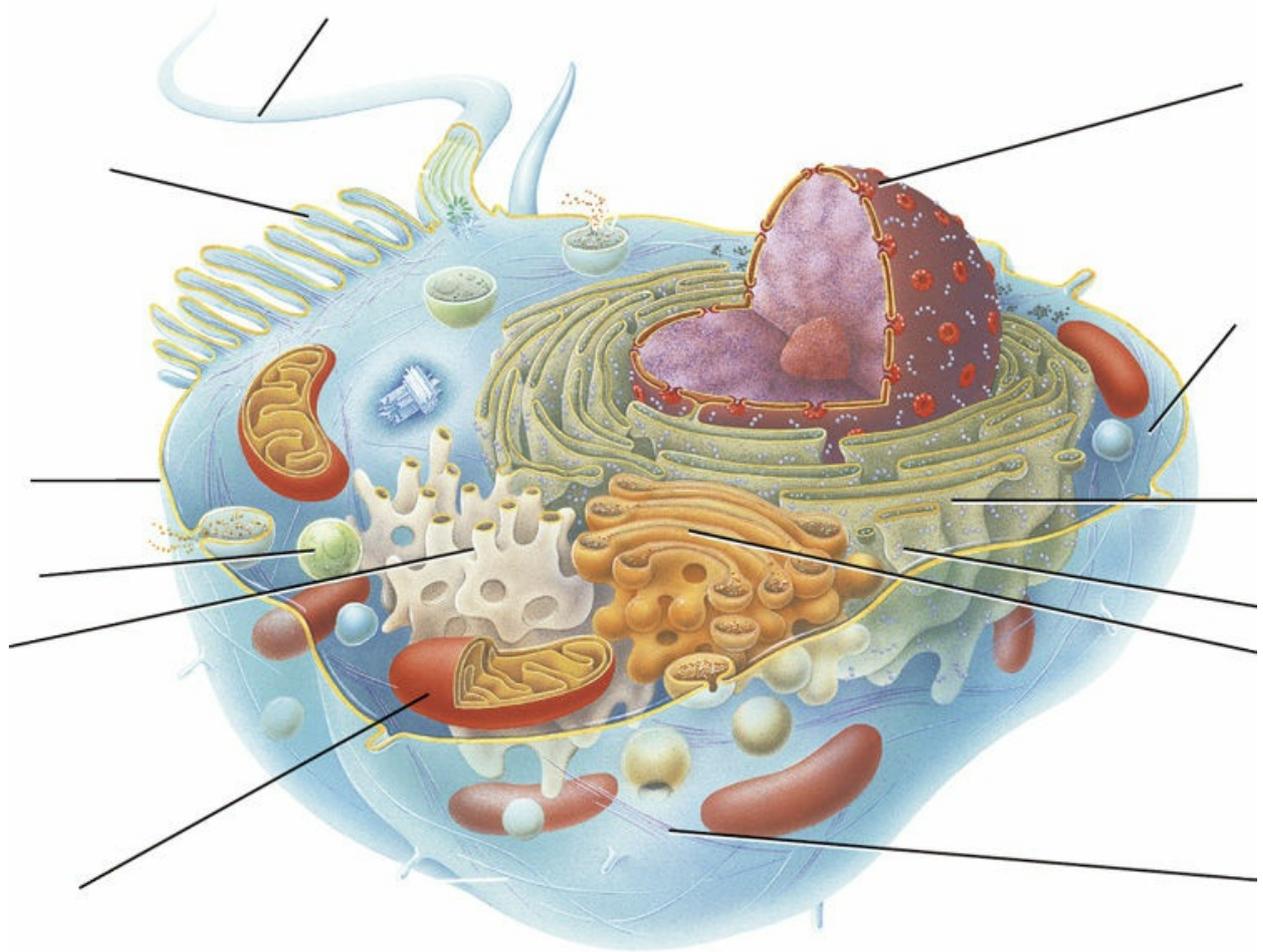
Falso o verdadero

1. La difusión ocurre de zonas de menor concentración a zonas de mayor concentración.
2. La difusión facilitada no requiere energía.
3. El compartimiento intersticial es parte del compartimiento extracelular.
4. Las mitocondrias contienen su propio material genético.
5. La membrana celular contiene grandes cantidades de colesterol.
6. El potasio es el principal ion extracelular.
7. Los iones cloruro tienen carga negativa.
8. La hiponatremia indica valores altos de sodio.
9. La solución salina 0.9% normal es hipertónica.
10. La ADH se produce en la hipófisis.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

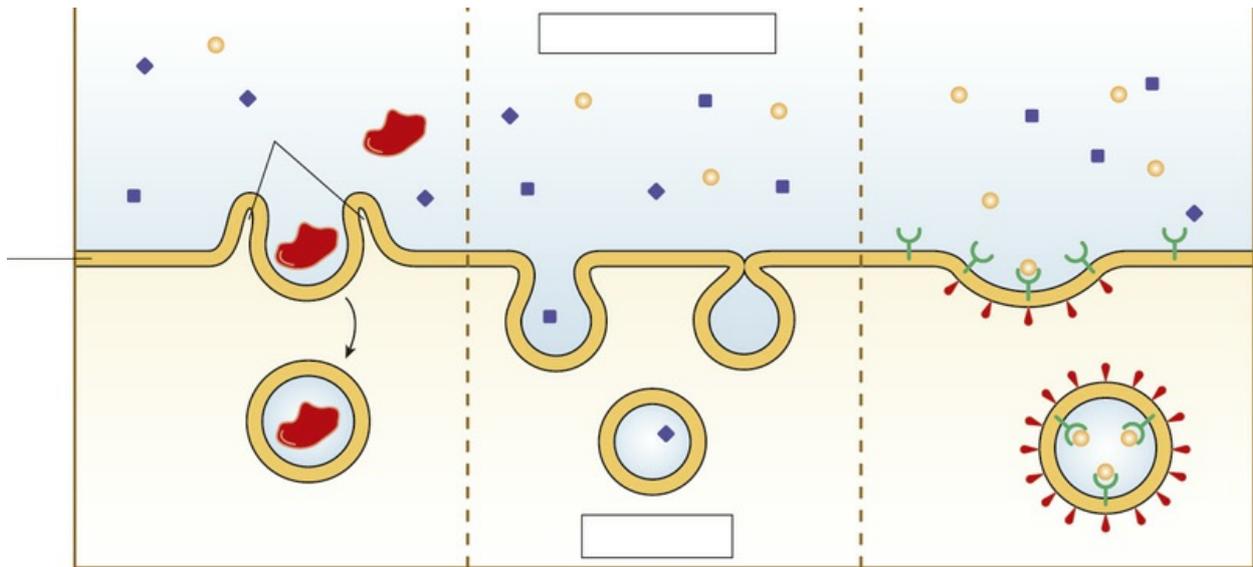
Flagelo, Microfilamento, Membrana plasmática, Lisosoma, Retículo endoplásmico liso, Mitocondria, Vista en corte transversal, Núcleo, Citoplasma, Retículo endoplásmico rugoso, Ribosoma, Complejo de Golgi, Microfilamento



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Fagocitosis, Partícula sólida, Seudópodo, Fagosoma (vacuola alimenticia), Pinocitosis, Vesícula, Endocitosis mediada por receptor, Depresión recubierta, Receptor, Proteína de cubierta, Vesícula recubierta, Membrana plasmática, Líquido extracelular, Citoplasma



Encierre en un círculo el término

Encierre en un círculo el término que no pertenezca a cada grupo de organelos celulares:

| | | | | |
|----|--------------|-----------|------------------------|------------------------|
| 1. | Centríolos | Lisosomas | Peroxisomas | Degradación enzimática |
| 2. | Centríolos | Cilios | Mitocondrias | Flagelos |
| 3. | Núcleo | Nucléolo | Lisosomas | DNA |
| 4. | Ribosomas | RE rugoso | Síntesis de proteína | RE liso |
| 5. | Microtúbulos | Cilios | Filamentos intermedios | Citoesqueleto |

Búsqueda de palabras

Encuentre en la siguiente retícula las palabras que se enumeran al final.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | R | S | I | S | O | T | I | C | O | D | N | E | P | K |
| R | R | A | L | U | L | E | C | A | R | T | N | I | O | Y |
| S | I | S | O | M | S | O | P | S | F | Q | Y | U | T | J |
| H | O | O | E | X | T | R | A | C | E | L | U | L | A | R |
| R | I | T | C | J | T | W | A | D | O | I | D | O | S | D |
| E | N | D | A | I | T | S | A | M | O | S | O | B | I | R |
| X | A | N | R | R | N | S | E | M | O | S | O | B | O | R |
| O | C | O | O | O | D | O | M | J | G | S | Q | U | U | X |
| C | L | L | C | I | F | I | T | E | W | R | J | P | M | B |
| I | O | C | N | Q | S | O | H | O | M | A | A | Y | M | R |
| T | R | D | S | T | A | U | B | O | P | B | G | S | R | E |
| O | U | J | O | Y | S | T | F | O | B | I | R | U | A | M |
| S | R | F | Z | Y | S | J | B | I | I | R | H | A | A | S |
| I | O | A | S | U | Z | C | E | A | D | C | A | S | N | Z |
| S | E | L | E | C | T | R | O | L | I | T | O | C | V | A |

Agua, Ósmosis, Difusión, Membrana, Ribosomas, Extracelular, Grasas, Carbohidratos, Hidrófobo, Intracelular, Electrólito, Hipotónico, Exocitosis, Endocitosis, Sodio, Potasio, Cloruro

Para profundizar

1. ¿Cuáles son los organelos y sus funciones?
2. ¿Cuáles son los factores que afectan la difusión?
3. Analice los efectos de una baja concentración de potasio en el aparato circulatorio.
4. ¿Qué entiende usted por “tercer espacio hídrico”? ¿Tiene alguna participación en el equilibrio hídrico?
5. Explique el término “ascitis”. ¿Cuáles son las causas de la “ascitis”?
6. Explique el objetivo de que la enfermera añada potasio a una bolsa de infusión intravenosa.
7. Explique lo que sucede al líquido en los compartimientos hídricos cuando una persona está:
 - (a) deshidratada
 - (b) sobrehidratada.
8. ¿Qué significa el término transporte activo secundario?
9. ¿Cuál es la función de las mitocondrias en la célula?
10. En un sistema de transporte activo, ¿de dónde obtienen energía las células?

Símbolos químicos

Escriba los símbolos químicos correctos y anote si son aniones o cationes para los siguientes electrolitos:

Potasio _____
Sodio _____
Bicarbonato _____
Cloruro _____
Fosfato orgánico _____
Sulfato _____
Calcio _____

Llene los espacios 1

Usando palabras de la lista al final, llene los espacios en blanco:

El plasma es el único compartimiento _____ que existe como un depósito real de líquido en una misma ubicación. Difiere del _____ en su contenido mucho _____ y su elevado _____ (función de transporte). La sangre contiene _____ suspendidos, de modo que el _____ se ha llamado el _____ de la sangre. El compartimiento hídrico conocido como _____ es interesante porque es un compartimiento compuesto que contiene _____ (plasma) y _____ (líquido de los glóbulos rojos).

volumen sanguíneo, flujo, líquido extracelular, mayor de proteína, líquido intersticial (LIS), líquido intracelular, LIS, hídrico mayor, plasma, glóbulos rojos y blancos

Llene los espacios 2

Usando palabras de la lista al final, llene los espacios en blanco:

Los _____ son decisivos para la _____ y la _____. Son partículas con carga _____ y _____ (iones) que se forman cuando sales minerales o de otros tipos se disuelven y separan (disocian) en agua. Dado que los electrólitos tienen _____, pueden conducir la _____ en agua, que por sí sola en su forma pura es un _____ de la electricidad. Esta característica de los electrólitos es importante, porque la corriente permite a los electrólitos _____ cómo y dónde se distribuyen los líquidos en todo el _____, lo que incluye impedir que el agua cruce libremente las _____.

cuerpo, membranas celulares, carga, corriente eléctrica, electrólitos, salud, negativa, conductor deficiente, positiva, regular, supervivencia

Afecciones

La siguiente es una lista de afecciones relacionadas con los temas expuestos en este capítulo. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada una de esas afecciones. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej., personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Intoxicación hídrica

Edema pulmonar

Náusea y vómito

Acidosis

Alcalosis



Capítulo 3

Genética

Muralitharan Nair

Ponga a prueba sus conocimientos previos

- ¿Cuáles son las cuatro bases presentes en el DNA y cuál es su papel en la doble hélice?
- Si se tiene una secuencia de bases de DNA de ACATGGCTA, ¿cuál sería la secuencia de bases de RNA correspondiente?
- ¿Qué sucede durante la interfase de la mitosis?
- ¿Qué se entiende por herencia mendeliana?
- ¿Cuál es la diferencia entre herencia autosómica recesiva y herencia autosómica dominante?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Entender lo que es un gen y su importancia para la salud
- Describir la doble hélice, incluidas las bases
- Conocer la diferencia entre DNA y RNA, y sus funciones en genética
- Describir la anatomía y las funciones de un cromosoma
- Comprender y describir la síntesis de proteínas
- Explicar la división celular
- Entender la genética mendeliana y su relación con la transferencia de genes entre los padres y su prole
- Explicar los tres modos de herencia: dominante, recesiva y ligada al sexo

Mapa anatómico

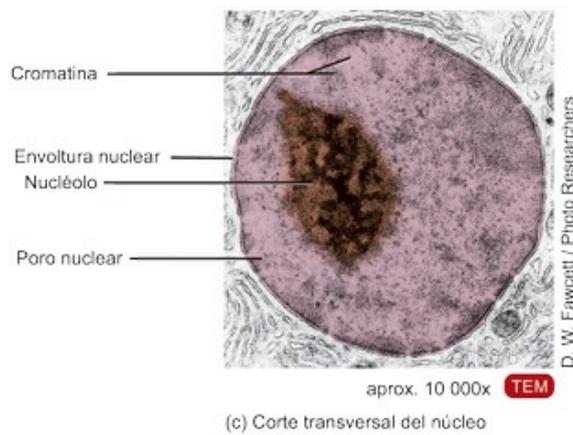
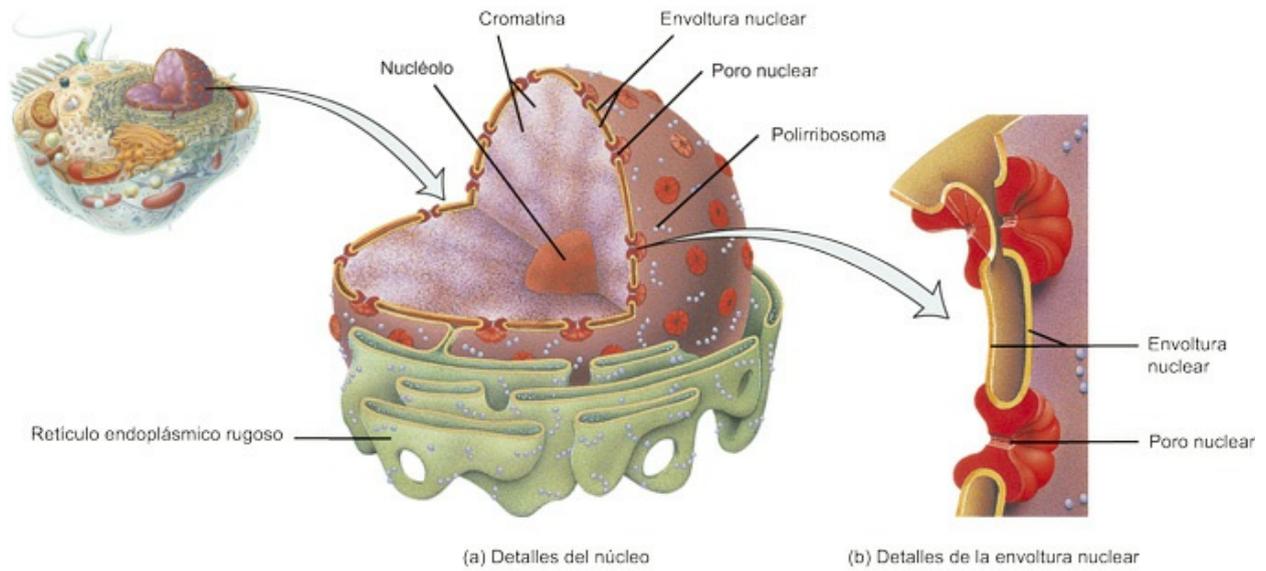


Figura 3-1. (a–c) Núcleo celular. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Introducción

La genética es un tema de gran importancia y siempre fascinante, porque somos la suma total de nuestros genes, y muchos problemas de salud están vinculados con los genes. En este capítulo se explora la naturaleza de los genes y su importancia.

Para empezar por el principio, los genes son tramos de ácido desoxirribonucleico (DNA) contenidos en los **cromosomas**, y los genes contienen conjuntos específicos de instrucciones acerca de

- Crecimiento
- Desarrollo
- Reproducción
- Funcionamiento
- Envejecimiento

Entre muchas otras cosas.

Básicamente, los organismos no pueden funcionar sin genes, y los genes nos hacen ser lo que somos: seres humanos, por principio de cuentas. Cada uno hereda todos sus genes de sus padres, que a su vez los heredaron de sus padres. Nuestros abuelos heredaron los suyos de sus padres, y así sucesivamente.

Ya se mencionaron unos pocos términos técnicos, así que es posible comenzar por definirlos. Esto ayudará a comprender el material del presente capítulo.

| | |
|------------------|--|
| DNA | Ácido desoxirribonucleico: parte de la doble hélice/cromosoma |
| RNA | Ácido ribonucleico, que se transcribe a partir del DNA |
| mRNA/tRNA | RNA mensajero/RNA de transferencia: trabajan junto con los ribosomas para producir proteínas a partir de aminoácidos que han sido codificados por el DNA/gen |

De este modo, el **DNA**, el componente esencial de la herencia, constituye las unidades básicas del material hereditario: los genes. La capacidad del DNA de duplicarse a sí mismo constituye la base de toda transmisión hereditaria y proporciona el código genético al actuar como plantilla para la síntesis del mRNA.

RNA y **mRNA** determinan la composición de **aminoácidos** de las proteínas, que a su vez establece las funciones de esas proteínas y por tanto la función de cualquier célula dada.

Cada cromosoma, una complicada madeja de DNA y proteína, está formado por dos **cromátides** unidas por un **centrómero**. Cada célula nucleada del organismo contiene, dentro de sus genes, todo el material genético necesario para formar un ser humano completo. En condiciones normales, una persona

tiene 46 cromosomas (23 pares) en cada célula nucleada: 22 pares de autosomas, y dos cromosomas X (mujer) o un cromosoma X y un cromosoma Y (varón). La excepción a esto son las células implicadas en la reproducción (los gametos, óvulo de la madre y espermatozoides del padre), que tienen una sola copia de cada cromosoma (es decir, 23 cromosomas). Sin embargo, algunas personas tienen más de 46 cromosomas (p. ej., quienes sufren síndrome de Down tienen 47 cromosomas, con tres copias del cromosoma 21, un trastorno conocido como trisomía 21), y otros tienen menos. Por ejemplo, quienes padecen el síndrome de Turner –también llamado síndrome 45,X– tienen 45 cromosomas, porque con frecuencia poseen sólo un cromosoma X, que más a menudo proviene de la madre (Crespi, 2008).

La doble hélice

El sonado descubrimiento de la **doble hélice** en la década de 1950 fue realizado por dos científicos de Cambridge, James Watson y Francis Crick, quienes recibieron el premio Nobel por su trabajo (si bien debe darse el merecido crédito a Rosalind Franklin, quien guió el camino con la cristalografía de rayos X de los genes, pero que por desgracia murió antes de que pudiera considerársele para el premio Nobel). Entonces, ¿qué es exactamente la doble hélice y por qué es importante? Bueno, antes que nada, es útil ver el dibujo de parte de la doble hélice en la figura 3-2.

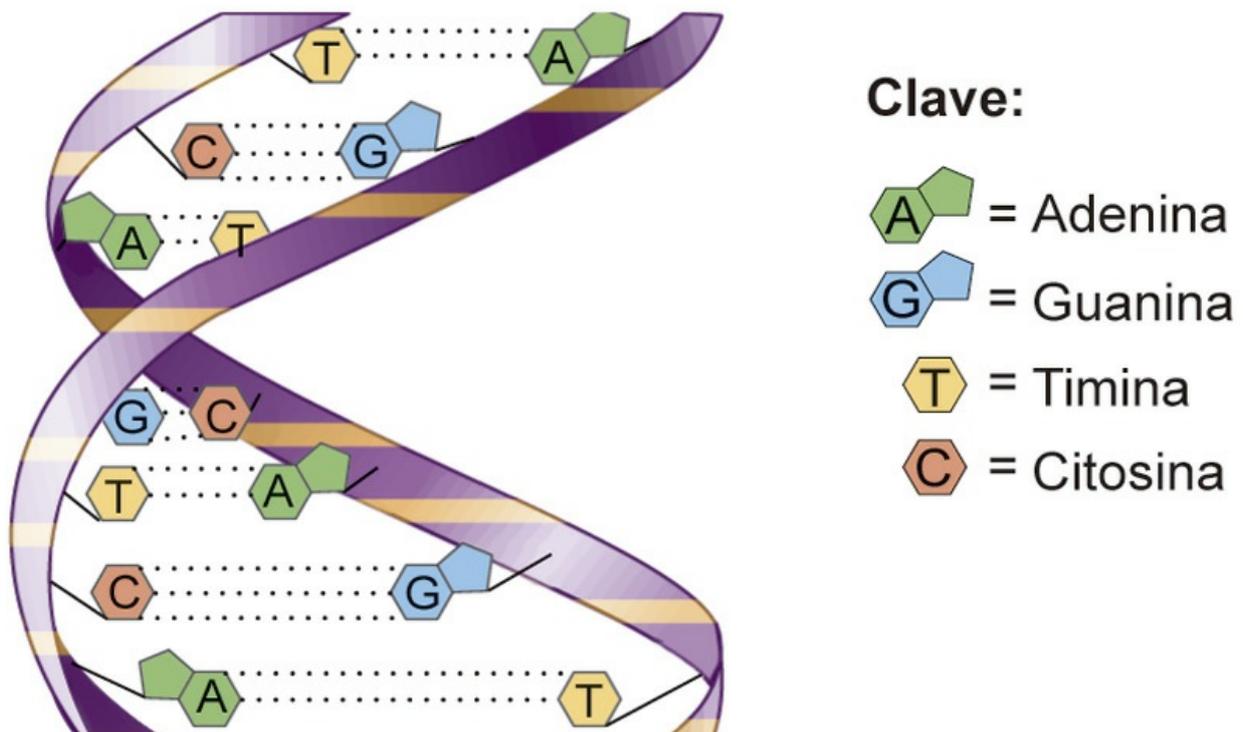


Figura 3-2. Representación gráfica de un tramo de la doble hélice. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La doble hélice consiste de dos cadenas de DNA, y es una molécula espiral, parecida a una escalera de caracol, con los peldaños formados por pares de **bases**. Para ser más precisos, la información genética del organismo está codificada en una secuencia lineal de subunidades químicas, llamadas **nucleótidos**.

Nucleótidos

Los nucleótidos constan de tres moléculas:

- **Desoxirribosa:** un azúcar cíclico de cinco carbonos
- **Fosfato:** una molécula inorgánica con carga negativa
- **Base:** una estructura anular de carbono y nitrógeno (anillo nitrogenado)

La bioquímica del DNA puede ser bastante compleja, pero es más fácil de entender si se recuerda que la doble hélice es como una escalera y consta de dos soportes paralelos de **fosfato de desoxirribosa** (llamados **cadena** –de modo que en realidad son cadenas de fosfato de desoxirribosa–) junto con una serie de **bases** que constituyen los peldaños de la escalera.

Pero, ¿qué son las bases? Las bases son simplemente aquellos componentes de la doble hélice que portan el código genético y determinan cosas como nuestro aspecto y funcionamiento.

Estas bases se disponen en diferentes secuencias junto con los soportes de fosfato de desoxirribosa de la doble hélice, de modo parecido a una escalera, y son esas secuencias diferentes lo que determina el tipo real de gen producido.

Bases

El DNA contiene cuatro bases:

- **Adenina** (A)
- **Timina** (T)
- **Guanina** (G)
- **Citosina** (C)

Es el orden en que aparecen las bases a lo largo de la molécula de DNA lo que da la variación, lo que a su vez hace que se produzcan diferentes genes.

Sin embargo, igual de importante en este sentido es el orden de los pares de bases. Véase una vez más el dibujo de la doble hélice en la figura 3-2; cada cadena de fosfato de desoxirribosa tiene diferentes bases. Pero dado que hay dos soportes paralelos, las bases se unen entre sí y hacen que la molécula sea estable. Imagine el lector que sube por una escalera con todos los peldaños serrados y separados por la mitad: no sería muy estable, ¿verdad? Bueno, es lo mismo con la molécula de DNA.

Con todo, estas bases no seorean de manera fortuita. Cada base es muy específica en cuanto a la otra base con que se pareará, y existe una regla de oro que el lector debe recordar:

Es importante recordar este hecho, así como otros dos:

Regla de oro

- **Adenina** siempre se para con **timina**
- **Guanina** siempre se para con **citocina**

Así, si la mitad del DNA tiene la secuencia de bases AGGCAGTGC, entonces el lado opuesto del DNA tendrá la secuencia de bases complementaria TCCGTCACG.

- Las bases se unen mediante enlaces de hidrógeno/polares (capítulo 1).
- Las bases individuales están conectadas a la desoxirribosa de la cadena (o

soporte de la escalera) por medio de enlaces covalentes (capítulo 1).

Esto es importante porque, como se expuso en el capítulo 1, los enlaces de hidrógeno no son tan fuertes como los enlaces covalentes y por lo tanto pueden separarse con más facilidad. La importancia de este hecho bioquímico se hará evidente cuando se expongan la duplicación del DNA y la síntesis de proteínas (Jorde *et al.*, 2009).

Cromosomas

Antes, véase una vez más la breve exposición previa de los cromosomas al comienzo de este capítulo. De hecho, el cromosoma no consiste sólo de DNA. Más bien, el DNA nuclear (también llamado **ácido nucleico**) de los eucariotes se combina con moléculas de proteína denominadas **histonas**. Un eucariote es cualquier organismo cuyas células tienen un núcleo y otros organelos cubiertos por membranas (véase más sobre la célula en el capítulo 2).

Juntos, el DNA y las histonas forman los **nucleosomas** contenidos en el núcleo celular. Este complejo de ácido nucleico e histona se conoce como **cromatina**.

Aquí surge un problema: si se extendiera todo el ácido nucleico de cada célula de un ser humano adulto, llegaría hasta la luna y de regreso unas 8 000 veces. Entonces, ¿cómo se empaqueta esa cantidad de moléculas de DNA e histona en el cuerpo humano, más bien pequeño? La respuesta, por supuesto, es que se les debe plegar de modo que quepan en cada célula del cuerpo, del mismo modo en que se dobla la ropa para asegurar que quepa en una maleta cuando se va de viaje. Y así como la ropa a menudo sólo cabe en la maleta si se dobla cuidadosamente, lo mismo ocurre con la cromatina de las células: no puede simplemente empujarse de manera descuidada; no cabría y habría muchas posibilidades de que las cosas salieran mal.

Así, para caber en las células, los cromosomas se tuercen unos sobre otros, y luego forman lazos, para finalmente asumir la forma que suele reconocerse como un cromosoma, la forma de X que se observa fácilmente en una célula humana (figura 3-3) (Jorde *et al.*, 2009).

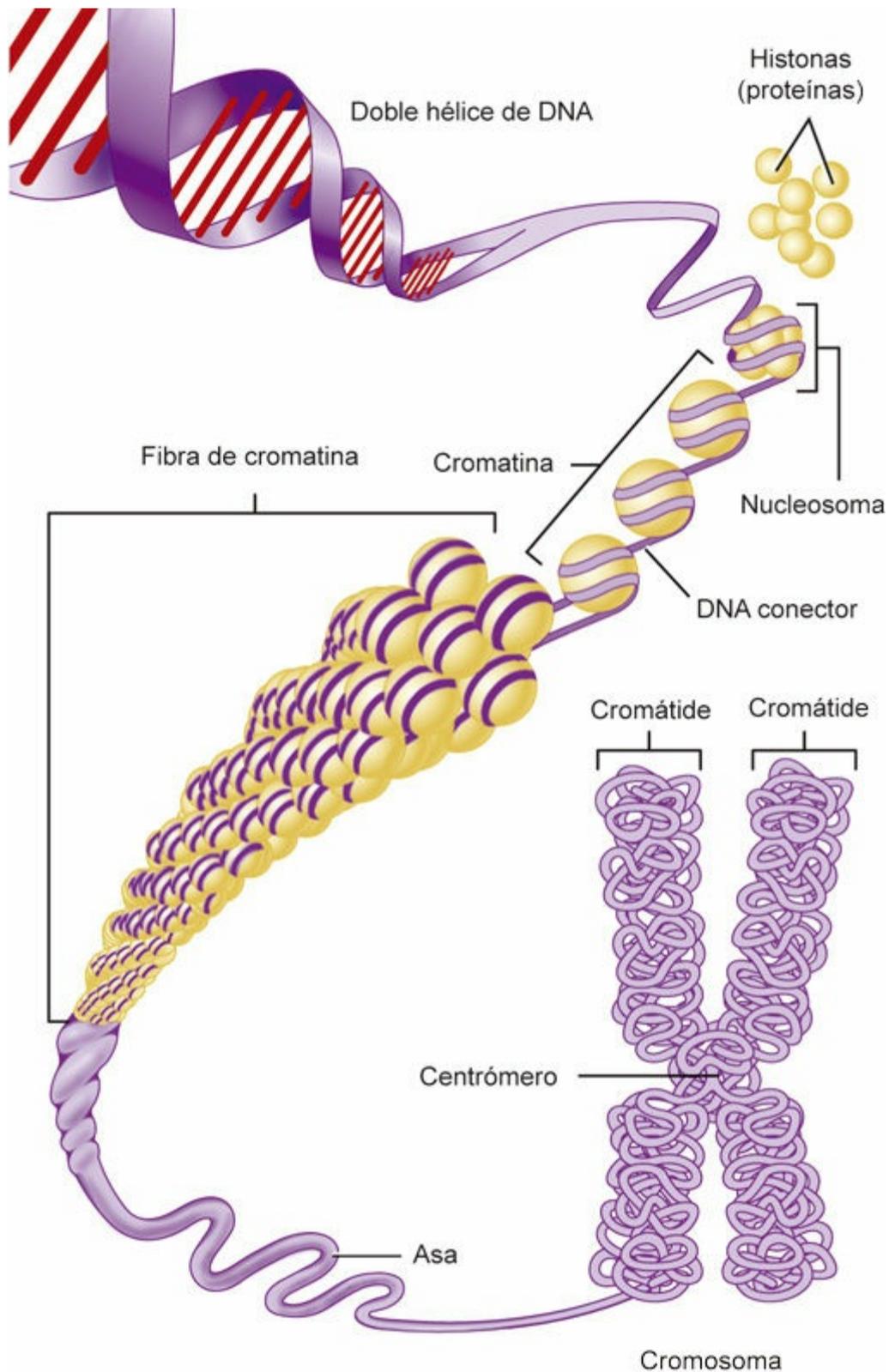


Figura 3-3. DNA, de la doble hélice al cromosoma. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Un vistazo más de cerca a los **cromosomas** revela que están formados por dos **cromátides** unidas por un **centrómero**. Si se observa la figura 3-3, se verá que una mitad del cromosoma es una **cromátide**, y el punto en que ambas cromátides se unen, cerca de la parte superior de la X, es el **centrómero**.

En la mayoría de las personas, cada célula nucleada (es decir, cada célula con núcleo) del cuerpo tiene 46 cromosomas, dispuestos en 23 pares (figura 3-4). De estos 23 pares, un par determina el sexo de la persona.

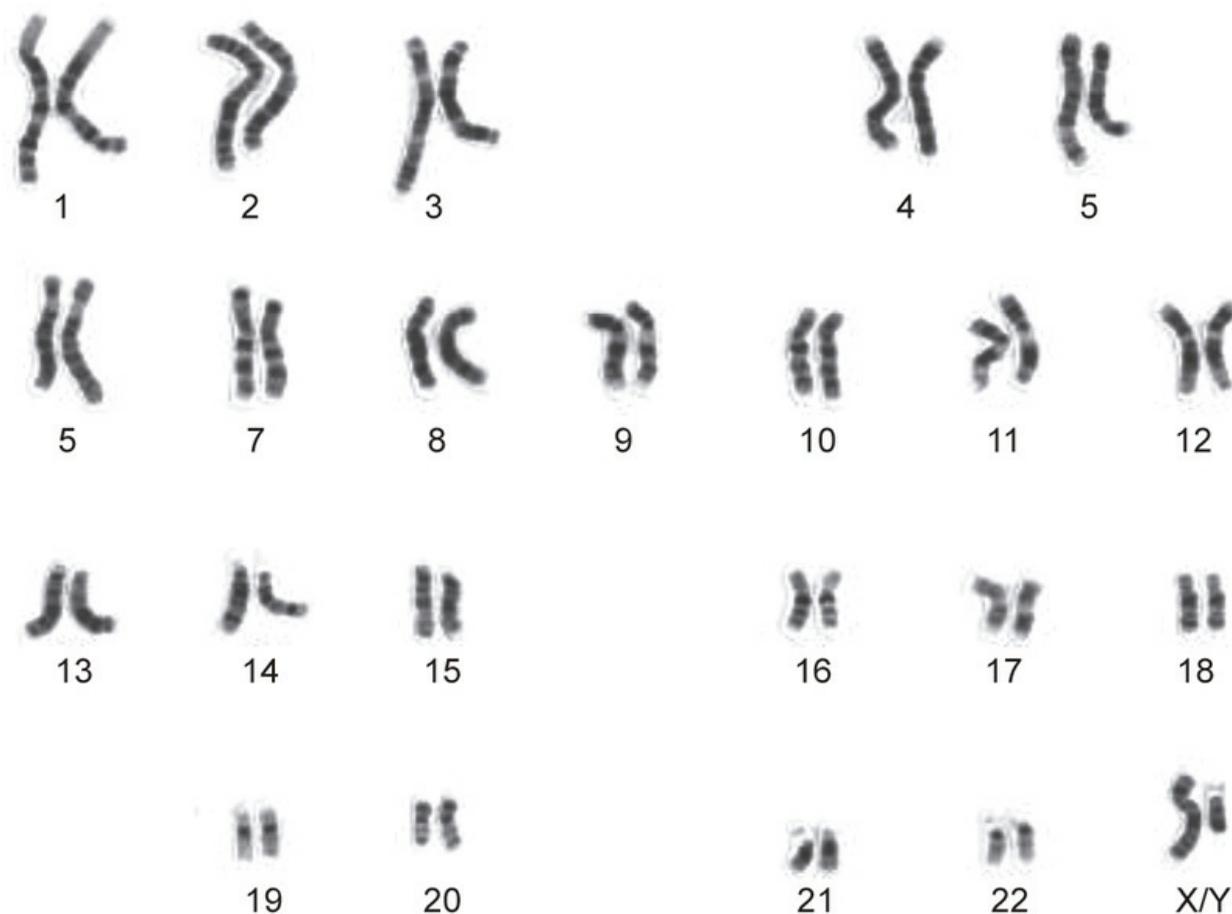


Figura 3-4. Cromosomas de un varón. *Fuente:* Lister Hill National Center for Biomedical Communications (2015). Reproducida con permiso de US National Library of Medicine.

- Las mujeres tienen un par **homólogo** (“igual”) de cromosomas X.
- Los varones tienen un par **heterólogo** (“diferente”) de cromosomas sexuales, uno X y uno Y.
- Los 22 pares restantes de cromosomas se denominan **autosomas**. En biología, la palabra “soma” significa cuerpo, de modo que autosoma significa “mismo cuerpo”. Así, los “**autosomas**” puede definirse como los cromosomas que determinan las características físicas/corporales; en otras palabras, todas las características de una persona no relacionadas con el sexo.

La posición que un gen ocupa en un cromosoma es un *locus*, y hay diferentes *loci* para el color de la piel, la estatura, color y tipo de cabello, etc. (“loci” es el plural de “locus”). Puede verse el locus como el domicilio de ese gen específico en la calle Cromosoma, del mismo modo en que el domicilio del lector es el lugar donde vive.

Los genes que ocupan loci correspondientes se llaman **alelos**. Así, el gen que

codifica la misma característica en cada una de las dos cromátides es un **alelo**. Los alelos se encuentran en el mismo lugar en cada una de las dos cromátides correspondientes, y un alelo determina una forma alterna de la misma característica. Para comprender esto puede ser útil recordar que una de las cromátides proviene de la madre y la otra del padre. Por ejemplo, considérese el color de ojos. Hay un gen específico que determina el color de ojos, y se encuentra en el mismo lugar en cada una de las dos cromátides de un cromosoma. Un gen proviene del padre y el otro de la madre. Si los progenitores de un niño tienen diferente color de ojos entre sí, digamos que la madre tiene ojos verdes y el padre, color castaño, entonces el hijo puede tenerlos verdes o castaños, según algunos factores que se considerarán más adelante en este capítulo.

Así, cada uno de estos genes específicos situados en el mismo punto (locus) de cada cromátide determina el color de ojos. Esto se aplica a cada una de las características de una persona. Se dice que un individuo con un par de alelos idénticos para un locus génico dado es **homocigoto** para ese gen, mientras que se dice que alguien con un par semejante es **heterocigoto** para ese gen.

Sólo un par de datos más acerca de los genes: a saber, algunos genes son **recesivos** y otros genes son **dominantes**.

- Un gen **dominante** es el que ejerce su efecto y se manifiesta físicamente (el **fenotipo**) cuando se presenta en uno solo de los cromosomas.
- Un gen **recesivo** debe estar presente en ambos cromosomas para manifestarse físicamente (**fenotipo**).

Esto se explicará con mayor detalle más adelante en el capítulo, pero es muy importante debido a las implicaciones que tiene en los trastornos hereditarios.

De DNA a proteínas

Como se explicó antes en este capítulo, los ácidos nucleicos son componentes del DNA y tienen dos funciones principales:

- La dirección de la síntesis de todas las proteínas (es decir, la producción de proteína),
- La transmisión precisa de esta información de una generación a la siguiente (de padres a hijos), y de una célula a las células hijas.

Síntesis de proteína

Síntesis significa simplemente “producción”; por tanto, la síntesis proteínica es la producción de proteínas a partir de materias primas. Todas las instrucciones genéticas para elaborar proteínas se encuentran en el DNA, pero para poder ejecutarlas antes debe traducirse la información genética codificada en el DNA.

Lo primero que ocurre en este proceso es que el DNA debe separarse para permitir que toda la información genética en una región del DNA se copie en RNA (figura 3-5).

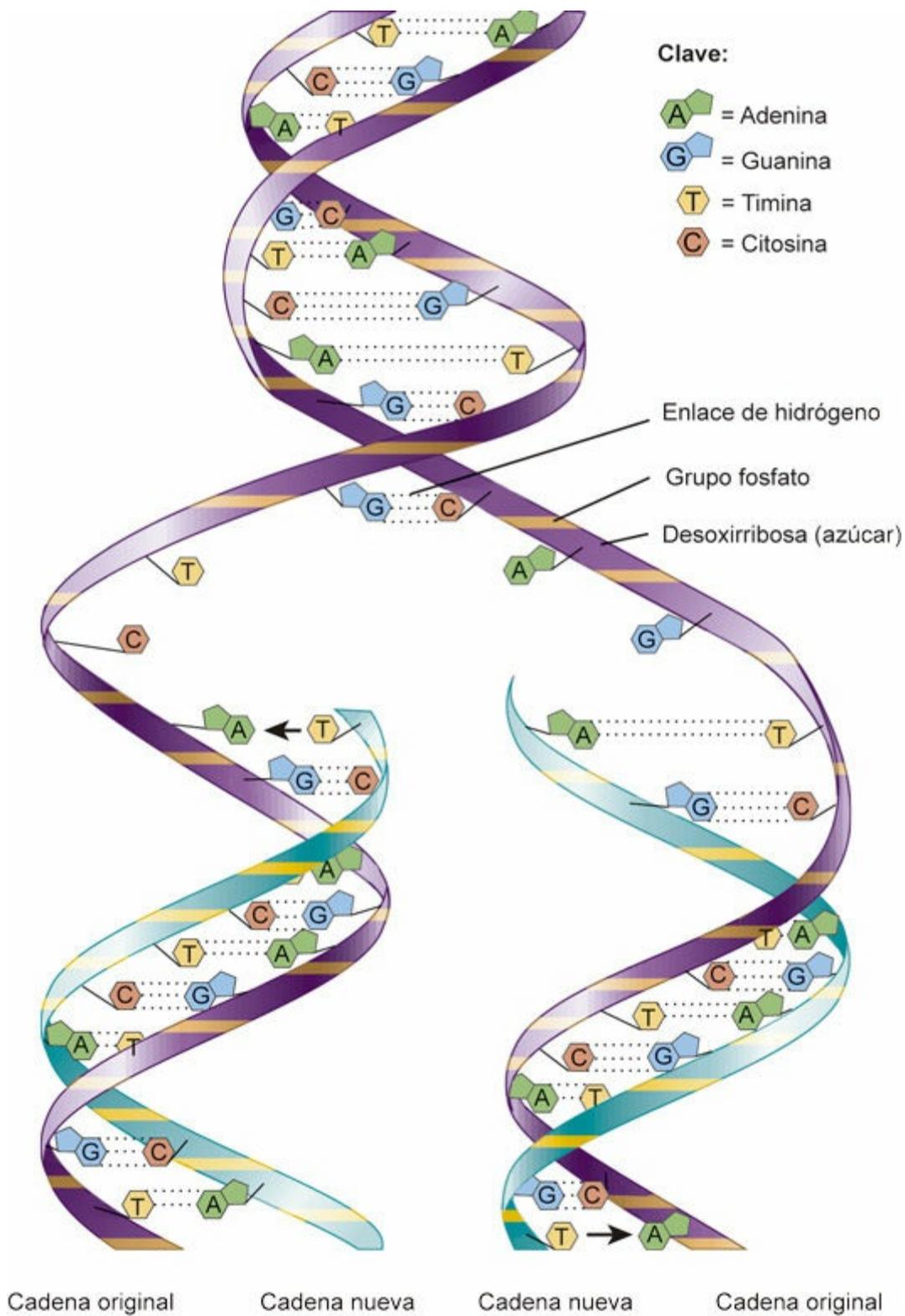


Figura 3-5. Separación del DNA. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Luego, mediante una serie compleja de reacciones, la información contenida en el RNA se traduce a una secuencia específica correspondiente de aminoácidos en una molécula de proteína recién sintetizada.

Enseguida se expone este proceso con más detalle. Para una mejor

comprensión, el proceso se dividirá en dos secciones: **transcripción** y **traducción**.

Transcripción

En la transcripción, el DNA debe transcribirse a RNA porque el organismo no puede trabajar directamente con el DNA. Usando una porción específica del DNA de la célula como plantilla, la información genética almacenada en la secuencia de bases de DNA se reescribe, de modo que la misma información aparece en las bases de RNA. Para ello, las dos cadenas del DNA deben separarse, y las bases que están unidas a cada cadena se parean entonces con bases unidas a cadenas de RNA. Como en las dos cadenas de DNA, las bases del DNA sólo pueden unirse con una base específica de RNA (recuérdese la **regla de oro**).

- Como en el DNA, la guanina sólo puede unirse a citosina en el RNA.
- Pero si bien la timina del DNA sólo puede unirse a adenina del RNA, no hay timina en el RNA.
- Entonces, la adenina se une a una nueva base en el mRNA llamada uracilo (U).

| DNA | mRNA |
|--------------------------|------|
| Guanina (G)–Citosina (C) | |
| Citosina (C)–Guanina (G) | |
| Timina (T)–Adenina (A) | |
| Adenina (A)–Uracilo (U) | |

Por ejemplo, si el **DNA** tiene la secuencia de bases AGGCAGTGC, entonces el **mRNA** tendrá la secuencia de bases complementaria UCCGUCACG.

La figura 3-5 ilustra el modo en que el DNA se separa y produce más DNA. Este mismo proceso ocurre durante la transcripción, excepto que la nueva cadena con sus bases es RNA y no DNA.

Pregunta: Si se tiene la secuencia de DNA **TGACTACAG**, ¿cuáles serían las bases del RNA?

Respuesta: **ACUGAUGUC**

Así, en el proceso de transcripción, el DNA actúa como plantilla para el mRNA. Sin embargo, además de servir como plantilla para la síntesis de mRNA, el DNA también sintetiza otros dos tipos de RNA: rRNA y tRNA:

- **rRNA** (RNA ribosómico): el rRNA, junto con las proteínas ribosómicas, constituye los **ribosomas**.
- **tRNA** (RNA de transferencia): es el responsable de hacer concordar el código del mRNA con los **aminoácidos** producidos.

Una vez producidos y listos, mRNA, rRNA y tRNA salen del núcleo de la célula y en el citoplasma comienzan el siguiente paso en la síntesis de proteínas, la **traducción**.

Traducción

La traducción nos permite entender lo que tenemos ante nosotros. En genética, la traducción es el proceso por el cual la información en la forma de bases de mRNA se usa para especificar los aminoácidos de una proteína (las proteínas están formadas por aminoácidos). En esto intervienen los tres tipos de RNA, así como proteínas ribosómicas.

Los pasos clave se presentan en la siguiente sección.

Pasos clave en la síntesis de proteínas

Los pasos clave en la síntesis de proteínas (la producción de proteínas a partir de DNA) se muestran en las figuras 3-6 y 3-7.

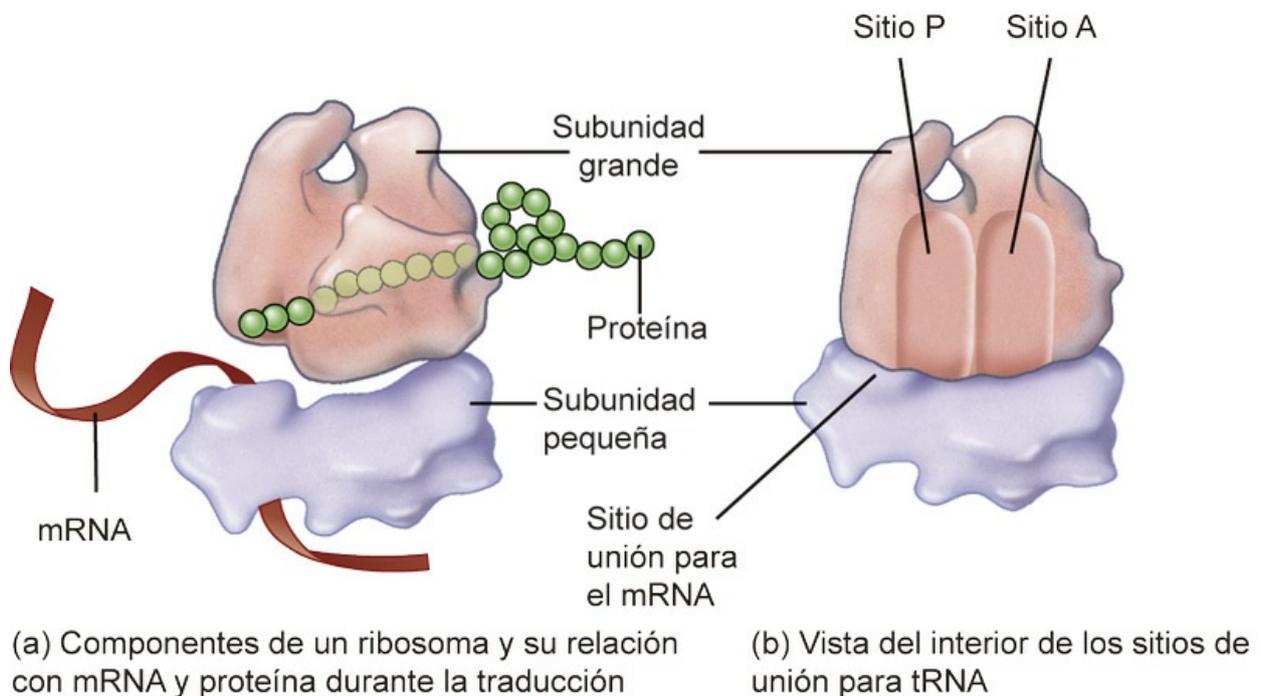


Figura 3-6. (a, b) El mRNA se une a una subunidad ribosómica pequeña.

Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

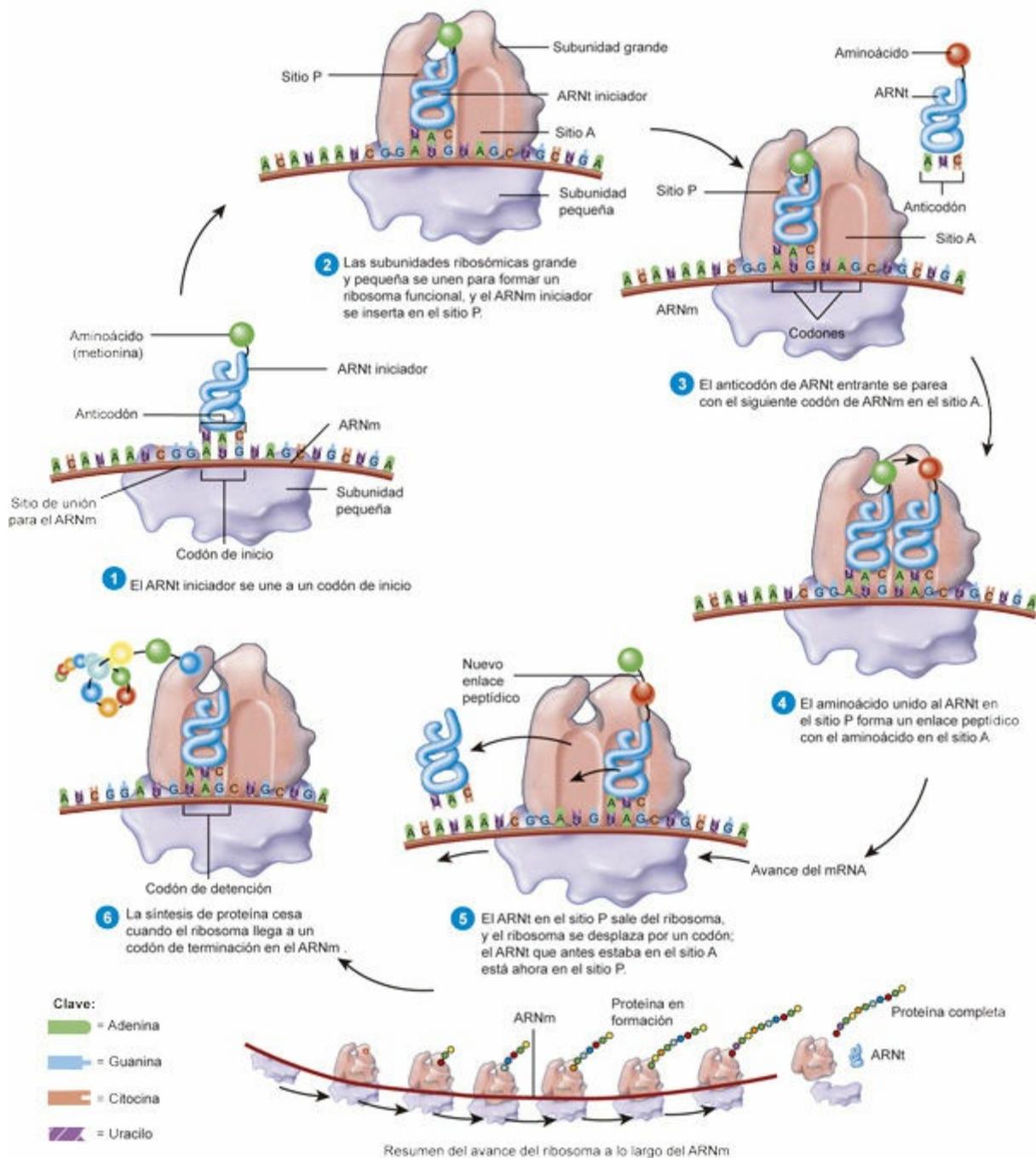


Figura 3-7. Resumen del movimiento del ribosoma a lo largo del mRNA.
Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- En el citoplasma, una pequeña subunidad ribosómica (véase el capítulo 2) se une a un extremo de la molécula de mRNA.
- Hay un total de 20 aminoácidos distintos en el citoplasma que pueden participar en la síntesis proteínica.
- Los aminoácidos provienen del alimento ingerido, y luego son captados por las células.
- Para cada aminoácido hay una cadena específica pequeña de tRNA de apenas tres bases (un **tripleto**).

Para continuar el resto de esta descripción de la traducción, se recomienda tener a la vista la figura 3-5:

- Un triplete de tRNA capta el aminoácido seleccionado.
- Este triplete se denomina **anticodón**.
- Un extremo del **anticodón** de tRNA se acopla con un aminoácido específico: tiene receptores que sólo le permiten acoplarse con ese aminoácido en particular.
- El otro extremo del **anticodón** de tRNA tiene una secuencia específica de bases.
- Ese **anticodón** de tRNA busca entonces las tres bases correspondientes en la cadena de mRNA que está unida a la subunidad ribosómica pequeña.
- Esas tres bases constituyen un **codón**.
- Mediante pareamiento de bases, el **anticodón** de la molécula de tRNA específica reconoce el **codón** correspondiente de la cadena de mRNA y se une a él. Por ejemplo, si el **anticodón** es **UAC**, entonces el **codón** de mRNA es **AUG**.
- En el proceso de unirse al codón de mRNA, el anticodón de tRNA lleva consigo el aminoácido específico.
- Debe recordarse que este pareamiento de bases de **codón** y **anticodón** sólo ocurre cuando el mRNA está unido a un ribosoma.
- Una vez que el primer **anticodón** de tRNA se une a la cadena de mRNA, el ribosoma se desplaza a lo largo de la cadena de mRNA y el segundo **anticodón** de tRNA, junto con su aminoácido específico, se coloca en posición.
- Los dos aminoácidos que se han fijado a los dos **anticodones** de tRNA (que a su vez están pareados con los **codones** de mRNA) se unen entre sí mediante un enlace peptídico.
- La subunidad ribosómica mayor contiene las enzimas que organizan la unión mutua de los aminoácidos.
- En cuanto esto ocurre, el primer **anticodón** de tRNA se desprende de la cadena de mRNA y luego regresa al cuerpo de la célula para tomar otra molécula de su aminoácido específico.
- Mientras tanto, el ribosoma continúa avanzando a lo largo de la cadena de mRNA.
- La subunidad ribosómica pequeña se mueve entonces a lo largo de la cadena de mRNA y el proceso continúa del mismo modo.
- A medida que más aminoácidos son desprendidos por sus tRNA y alineados, uno a uno, se forman enlaces peptídicos entre ellos, y de este modo la proteína se hace progresivamente más grande.
- Este proceso continúa hasta que la proteína especificada por la cadena de mRNA (que inicialmente fue especificada por los genes en la cadena de DNA) se completa; en otras palabras, hasta que el número correcto de aminoácidos se ha unido entre sí en el orden correcto.

- Cuando la proteína especificada se completa, la síntesis de aminoácidos/proteína es detenida por un **codón** especial llamado **codón de terminación**, una secuencia de tres bases que indica el final del proceso de síntesis proteínica para esa proteína en particular.
- Cuando aparece el **codón de terminación**, la nueva proteína ensamblada se libera del ribosoma, y éste vuelve a separarse en sus dos subunidades.

Aunque probablemente este proceso de síntesis de proteínas ha requerido mucho tiempo para ser comprendido y aprendido, en realidad es muy rápido. De hecho, la síntesis de proteínas avanza a un ritmo aproximado de 15 aminoácidos por segundo.

Resumen de la síntesis de proteínas

- A medida que cada ribosoma avanza a lo largo de la cadena de mRNA, lee la información codificada en el mRNA y sintetiza una proteína conforme a esa información.
- El ribosoma sintetiza la proteína traduciendo la secuencia de codones en una secuencia de aminoácidos.
- Mientras el ribosoma avanza a lo largo del mRNA, y antes de que complete la traducción del primer gen en proteína, otro ribosoma puede unirse al principio de la cadena de mRNA e iniciar la traducción de la misma cadena para formar una segunda copia de la proteína. Así, varios ribosomas moviéndose simultáneamente en tándem a lo largo de la misma molécula de mRNA permiten la traducción de una sola cadena de mRNA en varias proteínas idénticas de manera casi simultánea.
- Así, hoy es posible definir un **gen** como un grupo de nucleótidos en una molécula de DNA que sirve como molde maestro para producir una proteína específica.
- Los genes tienen en promedio unos 1000 pares de nucleótidos, que se disponen en una secuencia específica en la molécula de DNA.
- No hay dos genes que tengan exactamente la misma secuencia de nucleótidos, y ésta es la clave de la herencia.

Recuérdese ahora que (Jorde *et al.*, 2009):

- La secuencia de bases en el gen determina la secuencia de bases en el mRNA.
- La secuencia de bases en el mRNA determina el orden y los tipos de aminoácidos que formarán la proteína (figura 3-8).

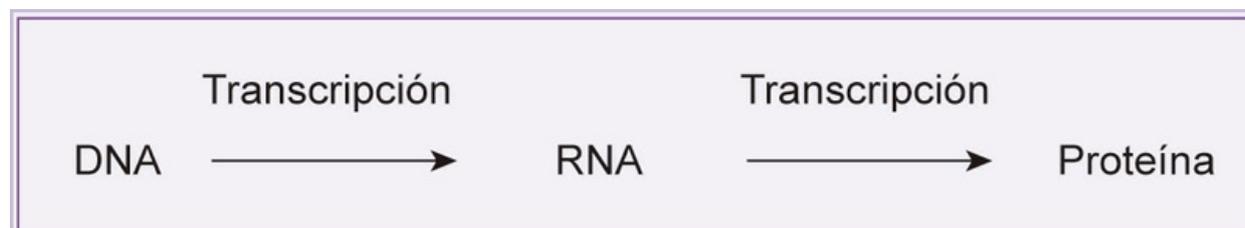


Figura 3-8. Breve resumen de la síntesis de proteínas.

- Cada gen es responsable de la producción de una proteína en particular, y el proceso ocurre en el orden mostrado en la figura 3-8.

Nuevos tratamientos para trastornos genéticos

¿Bebés con tres progenitores?

Hay un nuevo procedimiento destinado a prevenir la transmisión de enfermedades mitocondriales graves a las nuevas generaciones. Como el lector sabe por lo aprendido en el capítulo 2, las mitocondrias son organelos que funcionan como los sitios de producción de energía de la célula (aunque no en el núcleo). Sin embargo, si mutan, pueden transmitir enfermedades muy graves, a menudo letales, a la descendencia de la madre con las mitocondrias defectuosas. Entre esas afecciones están la emaciación muscular, daño neural, pérdida de la visión e insuficiencia cardíaca.

El problema es que en el óvulo fecundado sólo hay mitocondrias de la madre, ya que los espermatozoides no las poseen. En consecuencia, si hay genes defectuosos en las mitocondrias, que entonces pasen al feto en desarrollo, entonces no existirá la posibilidad de que sus efectos sean aminorados por las mitocondrias del padre.

Alrededor de 1 de cada 4 000 mujeres tienen afectación clínica o están en riesgo de sufrir una mutación mitocondrial, y el aumento de las necesidades energéticas del embarazo bien puede ser el factor que haga que se manifieste la enfermedad mitocondrial por primera vez.

En enero de 2015, el Reino Unido se convirtió en el primer país en permitir lo que se conoce como los “bebés de tres progenitores”. Básicamente, un óvulo de la madre es fecundado *in vitro* por un espermatozoide del padre, pero luego el núcleo que contiene el DNA (una combinación del DNA materno y el paterno) se extrae del óvulo fecundado y se coloca en un óvulo de donadora al que previamente se le extrajo el núcleo. Entonces el óvulo de donadora con el núcleo fecundado se inserta en la madre que, con el padre, aportó el DNA. Así, en efecto el niño resultante tendrá tres progenitores biológicos: su madre y padre que aportaron el DNA, y la mujer que suministró las mitocondrias y otros organelos. Genéticamente, el niño será hijo biológico de su madre y padre, y será una amalgama de ellos en cuanto a genética y atributos físicos, porque sólo el DNA del núcleo determina el fenotipo de la persona, no las mitocondrias. De este modo, el producto –y, si es una niña, su descendencia– no transmitirá la mutación mitocondrial a sus futuras generaciones, pero sí se parecerá a sus padres biológicos; de ahí los tres progenitores.

Sin embargo, aún hay aspectos preocupantes en esta intervención. El primero tiene que ver con la ética, en particular en lo que se refiere al hecho de que esta maniobra será la primera en introducir cambios genéticos que se transmitirán no sólo al hijo específico, sino a todo descendiente que éste tenga en el futuro. La segunda preocupación se refiere a fisiología y salud. Según el sitio en que se encuentre una célula en el organismo, puede tener desde una hasta cientos de mitocondrias. Por ejemplo, una célula que forme parte del cerebro requerirá grandes cantidades de energía para funcionar correctamente, y requerirá más mitocondrias que, digamos, un adipocito. Resulta interesante el hecho de que los eritrocitos son las únicas células que no contienen ninguna mitocondria.

Volviendo a la función de las mitocondria en las células humanas, como se mencionó antes y en el capítulo 2, se sabe que estos organelos proporcionan la energía necesaria para

que la célula pueda funcionar. Sin embargo, ahora se sabe que las mitocondrias hacen más que eso y son, de hecho, parte esencial de la célula en su conjunto. En el proceso de producir energía, las mitocondrias crean muchos subproductos, incluidas especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, que luego pasan al núcleo y comienzan una actividad de señalización, que podría afectar el DNA. Por el momento aún se trata de averiguar más acerca de la importancia global de las mitocondrias para toda la célula, y por tanto para el cuerpo como un todo. Así que es posible que las mitocondrias intervengan en el desarrollo del embrión. Por desgracia, esta técnica sólo se ha probado en macacos de la India, por lo que no hay garantía de que se obtengan los mismos resultados en seres humanos.

Transferencia de genes

En esta sección se analiza el modo en que la información genética se transfiere de las células a otras células, y también de padres a hijos. Lo primero será ver cómo las células transfieren información genética a nuevas células.

Para que el cuerpo crezca, y también para reponer las células corporales que mueren, las células existentes deben ser capaces de reproducirse a sí mismas, pero a fin de que no se pierda información genética, deben ser capaces de reproducirse de manera precisa. Lo hacen clonándose.

En algunos organismos procarióticos esto ocurre por fisión binaria, en la cual el núcleo de una célula individual se alarga y luego se divide para formar dos núcleos en la misma célula, cada uno de los cuales porta idéntica información genética. Entonces se divide el citoplasma a la mitad, entre los dos núcleos, y de este modo resultan dos células hijas idénticas, cada una con su propio núcleo y demás organelos esenciales.

Sin embargo, los seres humanos, al ser mucho más complicados, tienen células eucarióticas, que se multiplican por división celular, en la cual lo primero que ocurre es la división del núcleo, seguida por la división del citoplasma (a lo que se denomina citocinesis). Después de esta división, las nuevas células crecen hasta que llegan a una etapa en que el proceso puede repetirse.

Dentro de este proceso de división celular, el proceso de transferencia de genes (o reproducción de células que portan información genética) se divide en dos etapas: **mitosis** y **meiosis**.

Mitosis

Esta sección inicia con un vistazo al modo en que las células se reproducen, en particular cómo reproducen su material genético.

En los seres humanos, la reproducción celular ocurre por un complejo proceso llamado **mitosis**, en el cual el número de cromosomas en las células hijas debe ser el mismo que en la célula progenitora original.

En las figuras que siguen, con fines de claridad sólo se representan unos pocos de los cromosomas.

La **mitosis** puede dividirse en cuatro etapas:

- Profase.
- Metafase.
- Anafase.
- Telofase.

Antes y después de dividirse, la célula entra en una etapa llamada **interfase**, hasta que llega el momento para la siguiente reproducción celular.

Interfase

La **mitosis** comienza con la **interfase**. Muchos pensaban que éste era un periodo de reposo para la célula, pero hoy se sabe que en realidad la célula está muy ocupada durante este periodo, preparándose para la duplicación. Si se observa el **ciclo celular** y se supone que un ciclo completo representa 24 horas, entonces el proceso real de duplicación (**mitosis**) sólo duraría alrededor de una de estas 24 horas (figura 3-9). El resto del tiempo la célula está realizando la síntesis de DNA (producción de DNA). Durante este periodo de interfase la célula debe producir todo por duplicado, no sólo el DNA, sino también todos los otros organelos (capítulo 2), como las mitocondrias. Además, la célula debe pasar por el proceso de obtener nutrimentos y digerirlos, de modo que cuente con las materias primas para esta duplicación y también para generar la energía que activará las diversas funciones celulares.

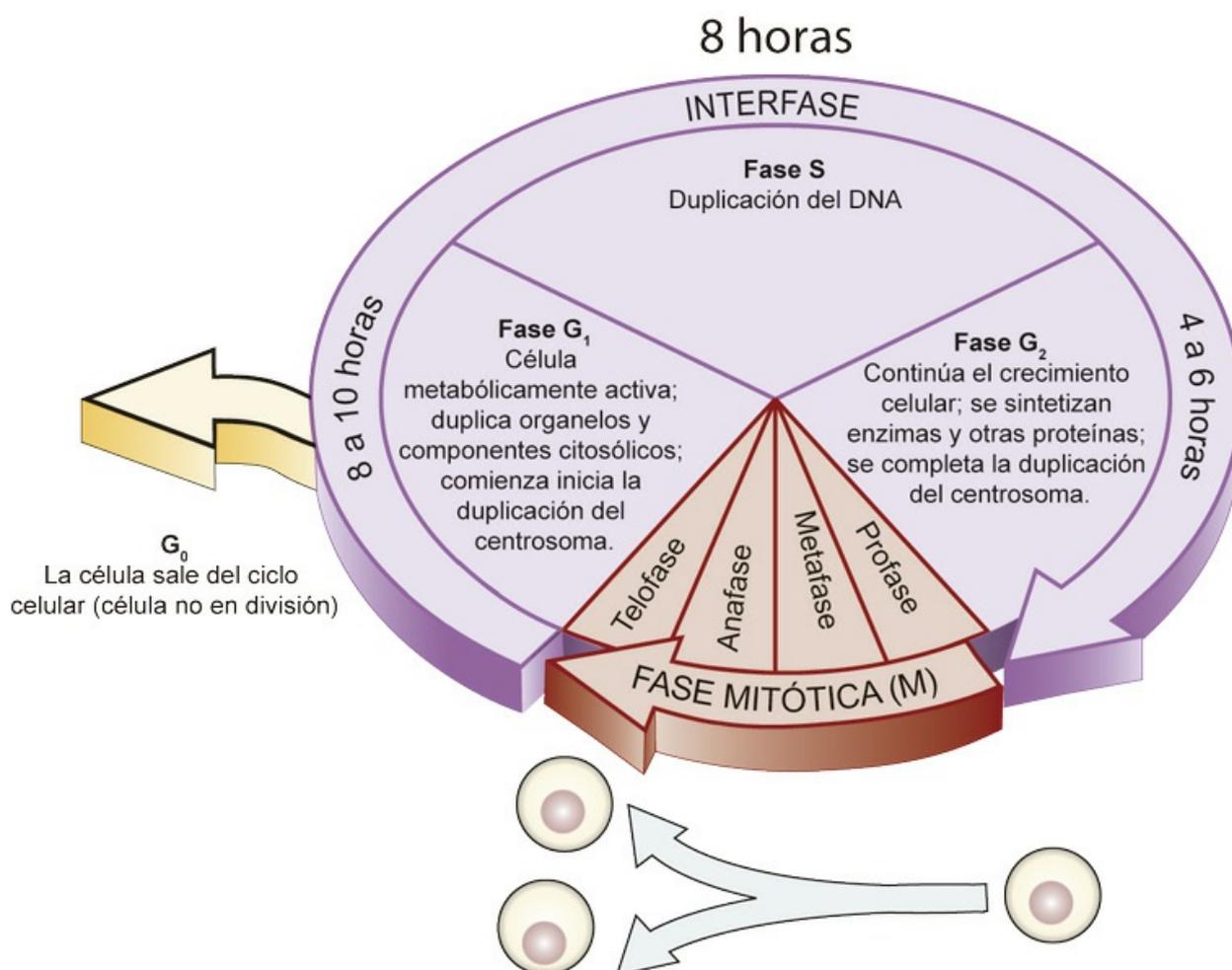


Figura 3-9. Ciclo celular. Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Durante la interfase, los cromosomas en el núcleo son muy difíciles de ver porque se encuentran en la forma de largos filamentos. Deben hallarse en este estado para facilitar su duplicación. Durante el proceso de duplicación, las células deben asegurarse que el material genético sea suficiente y exacto para cada una de las dos células hijas. Los filamentos de DNA se separan y se unen a nuevas cadenas de DNA. Debido a la selectividad de las bases en cuanto a la

otra base a la que pueden unirse en este proceso, ocurre una duplicación exacta del DNA (figura 3-5).

Además, se producen **organelos** celulares extra por la duplicación de los **organelos** existentes. También durante la interfase, la célula acumula una reserva de energía, necesaria para el proceso de división.

Profase

La primera etapa después de la interfase es la profase. Durante ella, los **cromosomas** se hacen más cortos, gruesos y visibles. Cada cromosoma consiste ahora en dos **cromátides**, cada una de las cuales contiene la misma información genética (en otras palabras, el DNA se ha duplicado de manera exacta durante la interfase). Estas dos **cromátides** están reunidas en una región llamada **centrómero**. Los dos **centrosomas** se desplazan a extremos opuestos de la célula (los **polos**) y son reunidos por el **huso nuclear**, que va de lado a lado (o de polo a polo) de la célula. El centro de la célula entonces se llama **ecuador**. Finalmente, el **nucléolo** y la **membrana nuclear** desaparecen, dejando los **cromosomas** en el citoplasma.

Metafase

En la metafase, los 46 **cromosomas** (dos de cada uno de los 23 **cromosomas**), consistente cada uno en dos **cromátides**, se desplazan al **ecuador** del **huso nuclear**, y aquí se unen a las **fibras del huso**.

Anafase

Durante la anafase, las **cromátides** de cada **cromosoma** se separan, y una **cromátide** de cada **cromosoma** se desplaza hacia cada **polo** del **huso**.

Telofase

Ahora hay 46 **cromátides** en cada polo, y formarán los **cromosomas** de las células hijas. La **membrana celular** se constriñe en el centro de la célula, dividiendo ésta en dos. El **huso nuclear** desaparece, y se forma una **membrana nuclear** alrededor de los **cromosomas** en cada célula hija. Los **cromosomas** vuelven a asumir su forma de filamentos largos.

División celular

La división celular está completa (figura 3-10), y las células hijas a su vez entran en interfase a fin de prepararse para su propia duplicación y división.

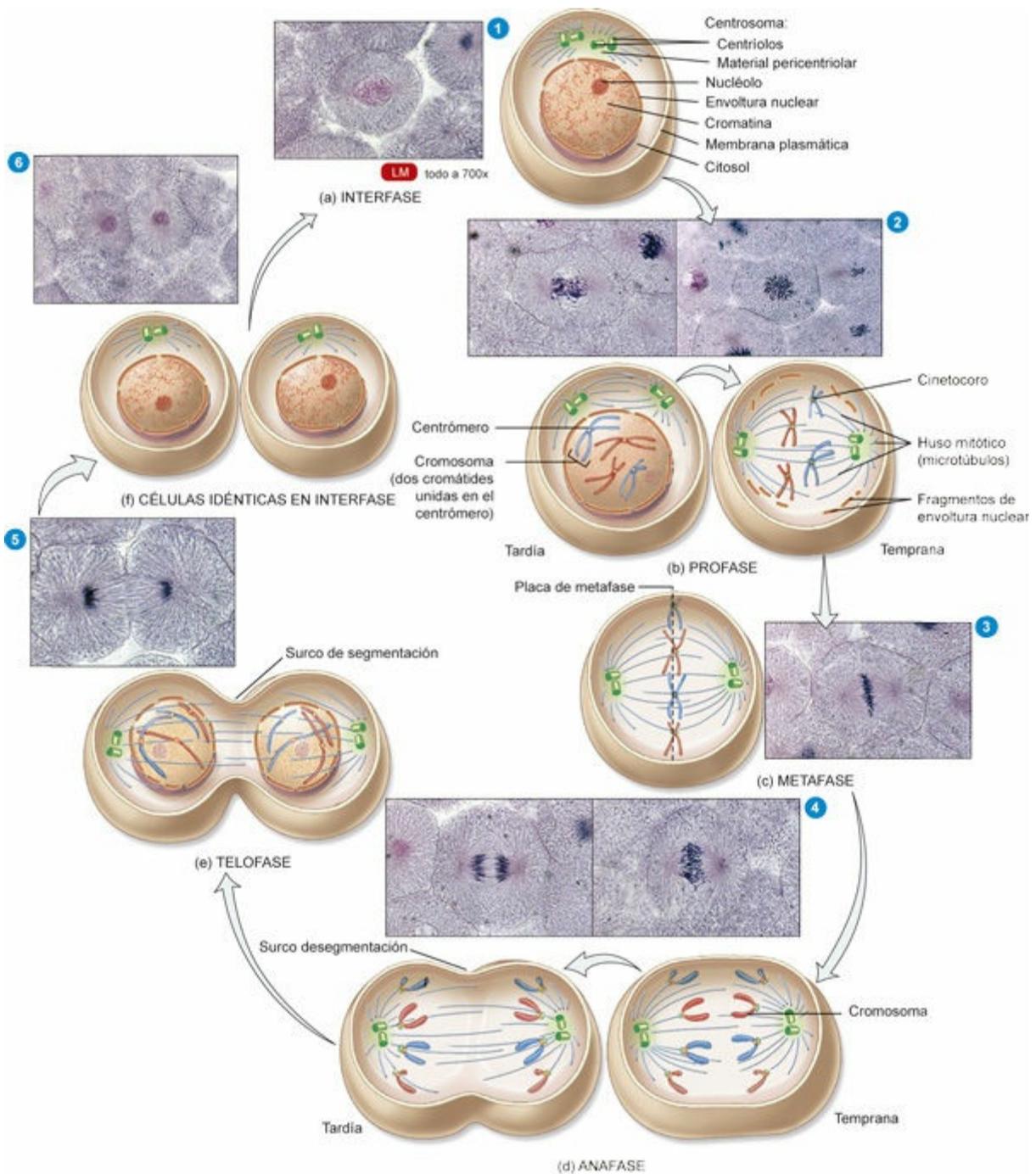


Figura 3-10. (a–f) Mitosis. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Este proceso de división celular explica cómo crece el ser humano produciendo nuevas células y reponiendo las envejecidas, dañadas y muertas.

Meiosis

Mientras que la mitosis se refiere a la reproducción de las células individuales, la meiosis tiene que ver con el desarrollo de organismos completos (como el ser humano).

La reproducción de los seres humanos depende de la fusión de células reproductivas (llamadas **gametos**) procedentes de cada progenitor. Estos

gametos son:

- **Espermatozoides** (células espermáticas) del varón
- **Óvulos** de la mujer.

Cada célula del cuerpo humano contiene 23 pares de **cromosomas** (es decir, 46 en total). Es muy importante que durante el proceso de la reproducción humana la célula que se forma cuando los gametos se fusionan tenga el número correcto de cromosomas para el ser humano (23 pares). Por lo tanto, cada gameto debe poseer sólo 23 cromosomas individuales, porque cuando los gametos se fusionan durante la reproducción todos sus cromosomas permanecen intactos en el nuevo ser. Si cada gameto tuviera el conjunto completo de 46 cromosomas, entonces la célula fusionada resultante poseería 92 cromosomas –o cuatro copias de cada cromosoma– en lugar de los dos que una célula humana debe poseer. A partir de entonces, cada generación sucesiva tendría el doble de cromosomas, de modo que después de unas pocas generaciones los seres humanos tendrían células con millones y millones de copias de los 23 cromosomas. Para impedir que esto suceda, los gametos sólo poseen una copia de cada cromosoma, de modo que la célula fusionada resultante tiene 46 cromosomas, como los progenitores.

He aquí dos nuevos términos que aprender y entender: células **diploides** y **haploides**.

- **Célula diploide:** la que tiene un juego completo de 46 cromosomas (es decir, 23 pares).
- **Célula haploide:** la que tiene sólo la mitad de ese número de cromosomas (es decir, 23 cromosomas individuales).

Por lo tanto, los gametos son células haploides, porque sólo poseen una copia de cada cromosoma, mientras que todas las demás células del organismo son diploides.

En realidad los gametos se desarrollan a partir de células con 46 cromosomas, y es por el proceso de **meiosis** como terminan con sólo 23 cromosomas. En efecto, en la **meiosis** las células en realidad se dividen dos veces, sin la duplicación del DNA que ocurre una vez más antes de la segunda división.

Con fines descriptivos, la **meiosis** puede dividirse en ocho etapas (no las cuatro de la **mitosis**), o mejor aún, dos divisiones **meióticas** cada una con cuatro etapas. Sin embargo, ambas tienen el mismo nombre, pero con los números I y II. Como en la **mitosis**, estas etapas son continuas entre sí.

- Primera etapa meiótica:
 - Profase I
 - Metafase I
 - Anafase I
 - Telofase I.

- Segunda etapa meiótica:
 - Profase II
 - Metafase II
 - Anafase II
 - Telofase II.

Sin embargo, existen diferencias entre lo que ocurre durante el proceso de la **mitosis** y lo que ocurre durante la meiosis, así como muchas semejanzas.

Primera división meiótica

Profase I

La profase I es similar a la etapa de la profase en la **mitosis**. Sin embargo, en vez de estar dispersos al azar, los **cromosomas** (consistentes en dos **cromátides**) están dispuestos en 23 pares. Por ejemplo, los dos cromosomas 1 se porean, al igual que los dos cromosomas 2, etc. Se dice que cada par de cromosomas es **bivalente**. Dentro de cada par de cromosomas es posible el intercambio de material genético entre los dos cromosomas, y estos intercambios son responsables en parte de las diferencias entre hijos de los mismos padres. Este proceso se denomina **entrecruzamiento génico** (figura 3-11).

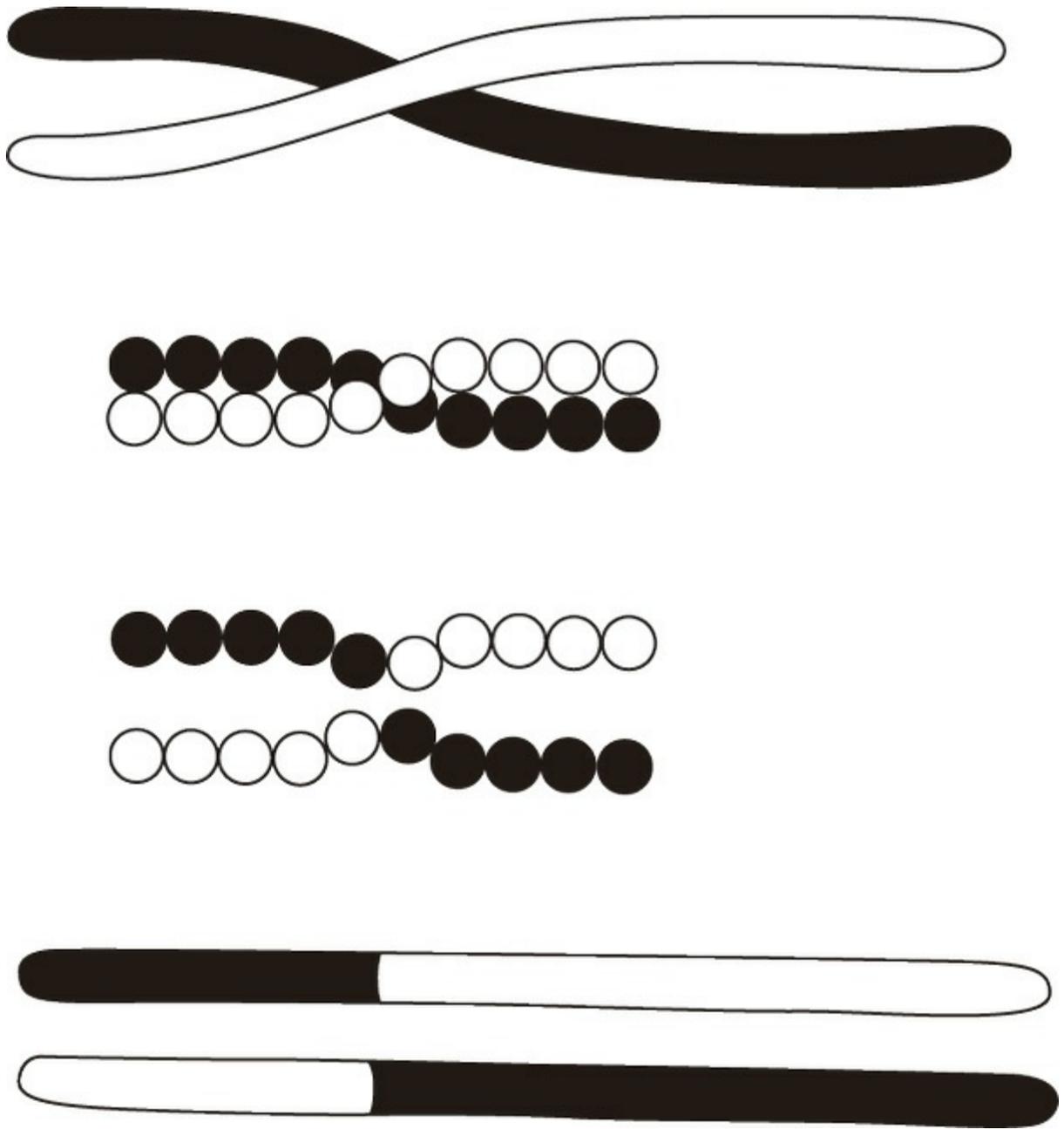


Figura 3-11. Entrecruzamiento génico.

El punto importante que debe recordarse de la meiosis es que el DNA no se duplica durante la primera división meiótica.

Metafase I

Como en la mitosis, los cromosomas se encuentran en los husos acromaticos en el ecuador. Sin embargo, permanecen pareados.

Anafase I

Un cromosoma de cada par se desplaza a cada polo, de modo que ahora hay 23 cromosomas en cada extremo del huso.

Telofase I

La membrana celular divide ahora la célula en dos mitades, como en la mitosis. Cada célula hija ahora tiene la mitad del número de cromosomas que tenía cada célula progenitora (Jorde *et al.*, 2009).

Segunda división meiótica

Durante la segunda división meiótica, ambas células producidas por la primera división meiótica vuelven a dividirse.

Profase II, metafase II, anafase II y telofase II son todas similares a su etapa equivalente en la **mitosis**, excepto que los cromosomas no se duplican antes de la **profase II**, de modo que hay sólo 23 cromosomas individuales en cada célula nieta. De este modo, cuando los gametos se fusionan durante la reproducción, aún hay sólo 23 pares de cromosomas por célula humana, en vez de los 46 pares que habría si los cromosomas se hubieran duplicado durante la **primera división meiótica**.

De los 23 pares de cromosomas, 22 pares son **autosomas** y un par son **cromosomas sexuales**. Recuérdese, **autosómico** significa “del mismo cuerpo” (auto = mismo; sómico = del cuerpo). En otras palabras, los cromosomas autosómicos se relacionan con el cuerpo. Por otra parte, los cromosomas sexuales determinan el género de la persona. Los cromosomas sexuales masculinos se designan por la letra Y, y los cromosomas femeninos se designan con la letra X. Un varón porta los cromosomas XY (un cromosoma X procedente de la madre y un cromosoma Y del padre), mientras que una mujer tiene los cromosomas XX (un cromosoma X procedente de cada progenitor).

Genética mendeliana

Hasta aquí en este capítulo se ha examinado la biología de la genética, y ahora es tiempo de ver la participación de la genética en la herencia. Esto es muy importante porque, como ya se dijo, lo que somos es determinado en gran medida por nuestra constitución genética, que se hereda de los progenitores. La salvedad “en gran medida” se introduce porque además de ser producto de nuestros genes, también somos producto de nuestro ambiente: tiempo, espacio, relaciones, educación, etc.

Entonces, ¿cómo hereda una persona los genes de sus padres? Para comprenderlo es necesario viajar a la década de 1860. En Brno (que hoy en día es una ciudad grande de la República Checa pero en ese tiempo era un pequeño pueblo de Bohemia) había un monasterio, y en ese lugar vivía y trabajaba un monje con una mente muy inquisitiva. Se llamaba **Gregorio Mendel** y cuidaba los huertos de monasterio, donde dio buen uso a su ingenio tratando de obtener el chícharo (guisante) ideal. Como parte de su trabajo, experimentó con cruzamientos. En ese tiempo, los cruzamientos se realizaban en todas partes, en granjas y huertos, y por supuesto, los seres humanos también nos cruzábamos. Sin embargo, lo que Mendel hizo diferente fue que no sólo experimentó con el cruzamiento de distintos chícharos, sino que además tomó notas sobre sus experimentos y observaciones. Él introdujo tres enfoques novedosos en el estudio del cruzamiento, o al menos para su tiempo, porque nadie más lo hacía. No sólo observó, sino que experimentó y observó. Habiendo observado y experimentado, después aplicó la estadística. Se aseguró de que las cepas experimentales originales, a partir de las cuales obtuvo sus cruzamientos, fueran cepas puras (en ese tiempo el uso de la estadística no era parte integral de la tradición en biología).

Los fenómenos que Mendel descubrió y observó son estadísticos: las ahora famosas proporciones sólo adquirieron sentido en el contexto del conteo de grandes cantidades de especímenes y el cálculo de promedios. Sin embargo, los métodos para evaluar datos estadísticos de manera científica no existían entonces, y no se desarrollaron durante otros 30 años más o menos. Fue sólo mucho después cuando pudo aceptarse la validez de tal enfoque.

En 1866, Mendel escribió y publicó un artículo sobre sus experimentos, y la respuesta de la comunidad científica fue un silencio atronador: sus observaciones y teorías fueron ignoradas hasta su “redescubrimiento” a principios de la década de 1900.

Además, el trabajo de Mendel no se realizó en uno de los principales centros científicos, sino en la periferia, y se publicó sin grandes anuncios. En ciencia, como en el resto de las actividades humanas, quién expresa una idea y dónde trabaja determinan cómo es recibida. Esto es cierto en la actualidad y también lo era en 1866. Pero, sin lugar a dudas, la ciencia de la herencia se basa en lo que Mendel descubrió hace todos esos años.

Entonces, ¿qué descubrió Mendel? Bueno, demostró que los miembros de un par de alelos se separan por completo durante la meiosis (recuérdese que los

alelos son diferentes secuencias de material genético que ocupan el mismo **locus** génico o lugar en el DNA, pero en diferentes cromosomas).

Recuérdese también que todos tenemos un par de genes (alelos) en cada locus, pero debido al proceso de la **meiosis** (antes comentado), cada progenitor transmite sólo uno de esos genes a su hijo.

En la figura 3-12 se explica lo anterior. En esa figura, en el mismo locus en un cromosoma, el padre tiene los dos alelos Aa y la madre tiene los dos alelos Bb. Cuando ellos se reproducen, el padre puede transmitir el **gen A** o el **gen a** (ambos están en el mismo locus y por lo tanto son alelos) y la madre puede transmitir el **gen B** o el **gen b** (una vez más, ambos en el mismo locus). Sin embargo, cada hijo sólo puede heredar el **gen A** o el **gen a** del padre y el **gen B** o el **gen b** de la madre.

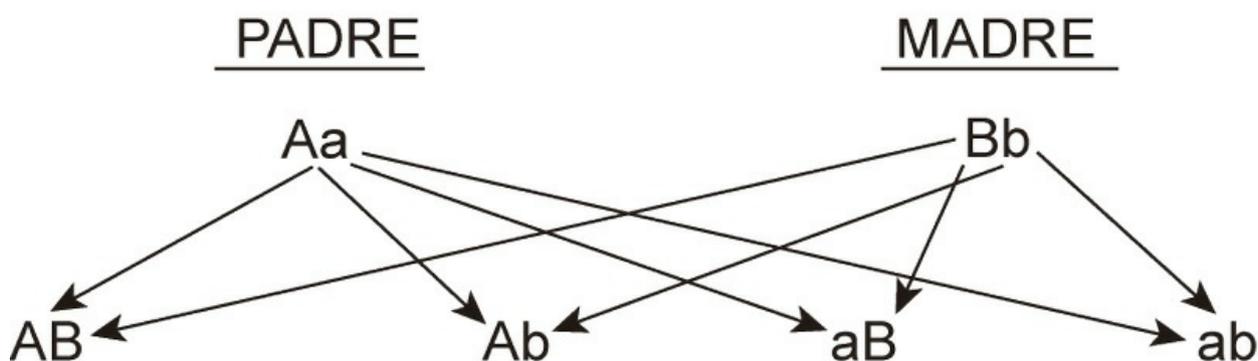


Figura 3-12. Herencia genética.

Lo que el hijo no puede es heredar el **gen A** y el **gen a** o el **gen B** y el **gen b**. Un hijo sólo puede heredar un alelo de cada progenitor. Esto se conoce como **primera ley de Mendel**.

¿Cuál es la probabilidad estadística de que un hijo herede uno de cualquiera de estos conjuntos de genes de los padres: **AB**, **Ab**, **aB**, **ab**? La respuesta es 1 de 4 (o 1:4). En otras palabras, hay una probabilidad de 25% de que un hijo cualquiera herede de sus progenitores uno cualquiera de esos pares de genes.

Lo anterior nos lleva a la segunda ley de Mendel, la cual sostiene que los miembros de diferentes pares de alelos se distribuyen de manera independiente entre sí durante la gametogénesis (la producción de gametos), y cada miembro de un par de alelos puede presentarse al azar junto con cualquier miembro de otro par de alelos. Nótese que la **gametogénesis** es la producción de células sexuales haploides, cada una de las cuales porta la mitad del material genético de cada progenitor.

De aquí llegamos al concepto de genes dominantes y recesivos, el cual se relaciona con muchas enfermedades que el lector podrá encontrar, y que determina características tales como el color de ojos y del cabello.

Genes dominantes y recesivos

En cada locus, los dos **alelos** (genes) pueden ser **dominantes** o **recesivos**. Un gen **dominante** es un alelo que se expresará en el fenotipo (la manifestación

física) sin importar lo que haga el otro alelo. En contraste, un gen **recesivo** sólo se expresará en el fenotipo si el alelo correspondiente también es recesivo y tiene la misma característica que el primer alelo.

Nótese que en las representaciones genéticas, los genes dominantes suelen indicarse con letras mayúsculas, mientras que los recesivos suelen escribirse con minúsculas, aunque no siempre. Así, en las figuras anteriores y siguientes, un gen es dominante y el otro es recesivo.

Véase nuevamente la figura 3-12. Supóngase que los progenitores tienen cuatro hijos, todos con diferentes genotipos (constitución genética), de modo que cada uno se representa con uno de los pares de genes posibles. ¿Cuántos de los hijos portarían al menos un gen **dominante**, y cuántos portarían sólo genes **recesivos** en este locus?

La respuesta es que tres de los cuatro hijos (75%) portarían al menos un gen **dominante**, y uno (25%) portaría dos genes **recesivos**. Por supuesto, los cuatro hijos pueden heredar el mismo par de genes en este locus, o quizá dos heredarán los mismos genes. La **primera ley de Mendel** sólo indica en este punto que en cada embarazo hay una probabilidad de 1 en 4 de que el hijo porte determinado genotipo.

Otro ejemplo: un varón pelirrojo se casa con una mujer de cabello castaño. Con el tiempo tienen varios hijos, todos los cuales tienen el cabello castaño. ¿Cuál es el gen dominante para el color de cabello, y quién lo porta?

El gen para cabello castaño que la madre porta es el dominante en este caso. Toda su descendencia se casa con parejas de cabello castaño, pero algunos de sus hijos son pelirrojos, como el abuelo materno. ¿Cómo puede explicarse esto?

Hay dos posibles explicaciones:

- Algunos de los hijos portan el gen recesivo para cabello rojo de su padre y sus parejas también portan un gen recesivo para cabello rojo; esto es lo más probable.
- El padre no fue el padre genético de esos hijos.

Herencia autosómica dominante y enfermedad

Si el gen dominante de uno de los progenitores es uno que causa enfermedad, por ejemplo enfermedad de Huntington o neurofibromatosis, ¿cuál es el riesgo de que cualquiera de los hijos de esos padres tenga la enfermedad?

La respuesta es un riesgo del 50% o de 1 en 2 de que un hijo tenga un **trastorno autosómico dominante**.

¿Por qué? Véase la figura 3-12, y supóngase que el padre (genes **A** y **a**) porta el alelo mutante en el gen **A**. Como el gen dominante siempre se expresa en el fenotipo, entonces estadísticamente habrá una probabilidad de 50% de que cualquiera de los hijos tenga la enfermedad, porque el hijo podría heredar el gen **a** del padre en lugar del **gen A**. Por supuesto, cualquier hijo que porte el gen **A** tendrá un 100% de probabilidad de tener la enfermedad; no habrá escape de ella.

Herencia autosómica recesiva y enfermedad

Las enfermedades **autosómicas recesivas** ocurren cuando ambos progenitores portan el mismo defecto en un gen recesivo en el mismo locus. Ambos progenitores deben portar el gen defectuoso, o de lo contrario el niño no estará afectado por la enfermedad.

En las enfermedades autosómicas recesivas, si el hijo (o progenitor) sólo porta el defecto en un gen, entonces es portador de esa enfermedad y puede transmitir ese gen defectuoso a sus hijos. Éstos a su vez podrían transmitirlo a sus propios hijos quienes, si lo heredan, también serán portadores, y esta situación podría continuar por muchas generaciones hasta que el portador tenga hijos con alguien que también sea portador de ese gen mutante. Entonces existe el riesgo de que sus hijos sean portadores o tengan la enfermedad.

Así, ¿cuáles son los riesgos de que:

- Un hijo sea portador del gen recesivo?
- Un hijo tenga la enfermedad causada por este gen mutante/anormal?

Manejo de medicamentos

Tratamiento de replazo génico

El tratamiento génico es un recurso para tratar trastornos genéticos, o al menos atenuarlos, mediante:

- Sustitución del gen mutante o disfuncional
- Manipulación o desactivación del gen que causa la enfermedad
- Estimulación de otras funciones corporales para combatir la enfermedad.

La forma más común de tratamiento génico consiste en reemplazar un gen disfuncional o faltante por uno sano. En el pasado ha habido muchos intentos de curar enfermedades mediante tratamiento génico. A fines de la década de 1990 se trató de curar la fibrosis quística, sin éxito. Sin embargo, a principios de la década de 2000, en Francia, este tratamiento fue exitoso con un tipo específico de inmunodeficiencia: la inmunodeficiencia combinada grave por déficit de adenosina desaminasa. No obstante, el tratamiento génico plantea el riesgo de complicaciones potencialmente graves, debido en primer lugar al método usado, que consiste en insertar los “nuevos” genes correctivos, es decir, insertarlos en virus que luego se introducen en el organismo. Los virus pueden identificar determinadas células y transmitir el material genético en las células que tienen el gen disfuncional o faltante. Por esa razón, se usan virus modificados como vectores o portadores de los genes sanos. Este método de inserción de genes sanos puede no parecer problemático en principio, pero tiene el potencial de causar complicaciones graves; de hecho, como en los primeros trasplantes inicialmente exitosos, dos niños contrajeron leucemia como resultado del virus que insertó los genes correctivos en el lugar incorrecto del genoma. Empero, en la actualidad este problema se ha eliminado en gran medida, y el replazo génico para ésta y otras inmunodeficiencias primarias se realiza con regularidad en centros especializados.

Pero podrían surgir otros problemas; por ejemplo, el virus insertado podría ser percibido como un invasor por el sistema inmunitario, de modo que éste produciría anticuerpos para destruirlo, lo que podría ocasionar falla orgánica. Asimismo, el uso de virus como

vectores podría conllevar el riesgo de propagación viral, y causar otras enfermedades, como el cáncer. Sin embargo, hasta la fecha, en el caso de niños con inmunodeficiencias primarias graves específicas esto no ha sido un problema, aunque es un riesgo siempre presente. Por otra parte, la mayoría de los otros tratamientos para esas enfermedades no son especialmente exitosos, así que los riesgos y beneficios deben ser ponderados de manera cuidadosa por el personal médico y, lo que es más importante, por los padres. Como con cualquier avance médico, una vez que se ha tenido tal éxito, sin importar a cuán pequeña escala se haya dado, ello impulsa a otros investigadores y médicos a explorar el procedimiento para otros trastornos médicos.

Para responder a esto, véase de nuevo la figura 3-12. En este caso, las letras minúsculas **a** y **b** representan el gen recesivo anormal. Como puede verse, ambos progenitores portan el gen anormal; por ejemplo, el de la **fibrosis quística**, una enfermedad bien conocida con herencia autosómica recesiva.

Si los dos genes recesivos (**a** o **b**) que codifican la fibrosis quística son portados por los progenitores, entonces las probabilidades en cada embarazo de

- Tener un hijo afectado son de 1 en 4 (o 25%)
- Tener un hijo portador son de 2 en 4 (o 50%)
- Tener un hijo no afectado ni portador son de 1 en 4 (o 25%).

¿Por qué? Véase de nuevo la figura 3-12.

- Sólo un hijo tiene dos genes afectados (**a** y **b**), y dado que deben estar presentes ambos genes afectados para que la enfermedad ocurra, éste es un hijo de cada cuatro, o 25%.
- Sólo un hijo no tiene un gen afectado (**a** y **b**), de modo que la enfermedad no puede presentarse en él; tampoco puede ser un portador, porque no hay un gen afectado que portar; así que éste es un hijo de cada cuatro, o 25%.
- Dos hijos tienen un gen afectado (**a** o **b**), pero también tienen un gen dominante no afectado (**A** o **B**).

Siempre que hay un gen dominante, el gen recesivo afectado no puede expresarse en el fenotipo (físicamente), ya que el gen dominante bloquea la acción del gen recesivo afectado. Así, dos hijos de cada cuatro tienen el estado de portador (50%). Sin embargo, siempre debe recordarse que los hijos portadores pueden transmitir el gen afectado a sus propios hijos.

Es importante recordar que esas probabilidades se aplican en cada embarazo, así que de cada cuatro hijos podría haber:

- Uno afectado
- Dos portadores y uno no afectado
- Cuatro portadores, tres afectados y un portador
- Etcétera.

Recuérdese que las probabilidades son las mismas para cada hijo de esos progenitores (LeMone *et al.*, 2015).

Consideraciones clínicas

Orientación genética

En términos generales y por el momento, la aplicación clínica de la genética a la salud es responsabilidad de médicos y científicos. Sin embargo, hay un aspecto extremadamente importante de la genética en la enfermedad que cae dentro del campo de acción de la enfermería, y es la orientación genética.

Un orientador genético debe proporcionar información, ofrecer apoyo a paciente y familiares, y ser capaz de intentar abordar las preguntas y preocupaciones específicas de la paciente y su familia. La inclusión de la familia es muy importante cuando se abordan enfermedades genéticas porque, en particular si el trastorno es hereditario, puede tener implicaciones para la familia en su conjunto. Sin embargo, si se solicita, la paciente consultará por separado de la familia; y, de hecho, la familia podría desear consultas individuales con el orientador genético, ya que podrían tener preguntas de interés particular para ellos.

Para dar una consulta, un orientador genético necesitará:

- Conocimientos de genética y enfermedades genéticas
- Conocimientos acerca de los distintos tratamientos disponibles para las enfermedades genéticas
- Empatía y respeto para el paciente y su familia
- Tiempo y paciencia
- Una caja de pañuelos desechables

Durante una consulta, el orientador genético debe:

- Empezar a crear conexión y confianza con la paciente y su familia.
- Explicar, en términos apropiados para la paciente y su familia, información médica y científica compleja.
- Ayudar a la paciente y familia a tomar decisiones informadas e independientes acerca de las implicaciones presentes y futuras de la enfermedad genética.
- Dar a la paciente y su familia tiempo para comenzar a asimilar la información que han recibido, y ayudarles con repeticiones y explicaciones innovadoras hasta que hayan recibido y comprendido la situación.
- Respetar los sentimientos y creencias individuales de cada paciente y sus familiares, y no intentar imponer los propios sentimientos y creencias sobre la situación.
- No decir a nadie lo que debe hacer; por ejemplo, recomendar a una pareja no tener hijos, abortar, someterse a pruebas para un trastorno genético o a un tratamiento específico.
- Mantener privacidad y confidencialidad en todo momento.
- Ser sincero acerca de las posibles consecuencias, pero destacar los aspectos positivos sobre los negativos. Por ejemplo, si se descubre que una pareja porta un gen autosómico recesivo, explicar que hay una probabilidad de 1 en 4 de que un hijo cualquiera esté afectado y de 2 en 4 de que un hijo cualquiera sea un portador de la enfermedad, pero entonces decirles que ello significa que, de hecho, la probabilidad es de 3 en 4 de que un hijo cualquiera no tenga la enfermedad genética. Asimismo, es importante resaltar que estas probabilidades se aplican a cada embarazo, de modo que una pareja puede tener cuatro hijos todos afectados, o cuatro hijos y ninguno afectado.
- Dar a la paciente y su familia tiempo para retirarse y analizar la información y sus

posibles implicaciones, y hacer arreglos para una nueva consulta en el futuro cercano, además de estar disponible para responder preguntas y cuando éstas surjan.

Hoy día la mayoría de los hospitales cuentan con especialistas en orientación genética, pero sólo ocasionalmente pueden atender a pacientes y familiares. Es aquí donde la enfermera del hospital o la clínica pueden venir en su ayuda. Pacientes y familiares con problemas de salud de origen genético siempre estarán deseosos de tratarlos con personas a las que conocen y en quienes confían y cuando lo necesitan, no por cita. En consecuencia, la enfermera, además del orientador genético, debe tener conocimientos sobre las afecciones y sus tratamientos y pronósticos. Esto es especialmente cierto cuando se trata de problemas médicos hereditarios. Es importante que la enfermera que los atiende les dedique el tiempo (así como algunas respuestas), el apoyo y la honestidad que solicitan y requieren. Mucho de lo que el orientador genético ha abordado con la paciente y su familia debe ser repetido y reforzado durante los largos días que las pacientes pasan en el hospital; y, quizá más importante, durante las largas y silenciosas noches en que surgen las preocupaciones y temores. Al final del día, como enfermero o enfermera el lector necesitará usar sus conocimientos y habilidades (físicos, psicosociales y de empatía) para ayudar a las pacientes a hacer las paces con su diagnóstico y su pronóstico, sean favorables o adversos.

Morbilidad y mortalidad de los trastornos dominantes y los recesivos

Los trastornos autosómicos dominantes suelen ser menos graves que los recesivos porque si alguien porta el gen afectado tendrá el trastorno, mientras que con los trastornos autosómicos recesivos un individuo puede ser portador pero no tener la enfermedad.

Si los trastornos autosómicos dominantes fueran tan graves y letales como los autosómicos recesivos, entonces la enfermedad se extinguiría porque todas las personas con un gen autosómico dominante afectado normalmente fallecen antes de tener la edad suficiente para transmitirlo a su descendencia.

Una excepción es la enfermedad de Huntington, un trastorno autosómico dominante letal, pero que subsiste porque los síntomas no suelen hacerse evidentes sino hasta que la persona rebasa los 30 años de edad, momento en el cual ya pudieron haber transmitido el gen afectado a sus hijos.

Trastornos recesivos ligados al cromosoma X (ligados al sexo)

Además de la herencia autosómica, también pueden heredarse trastornos a través de los cromosomas sexuales. La principal función de estos cromosomas es determinar el sexo del producto:

- • **XX = niña**
- • **XY = niño.**

Ante todo, las personas buscan las posibilidades de tener un niño o una niña cuando deciden tener un hijo. En la figura 3-13 puede verse que las probabilidades de tener un niño o una niña son del 50%.

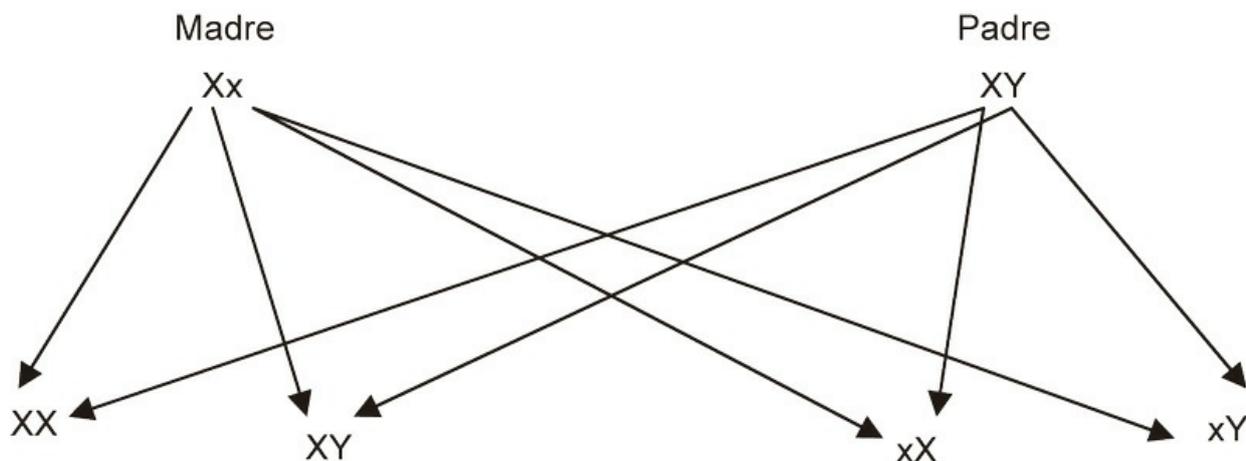


Figura 3-13. Herencia ligada al sexo (o al cromosoma X).

Algunos trastornos sólo se transmiten a través del cromosoma X. Son ejemplos la hemofilia ligada al cromosoma X y la distrofia muscular progresiva infantil (Duchenne). En estos trastornos, sólo los varones son afectados y las niñas son portadoras pero no son afectadas.

Si se considera que el gen x (con minúscula) es el afectado en el caso de la hemofilia, ¿qué ocurrirá?

- El primer hijo es una niña, que no porta el gen afectado, sino dos genes normales por lo que no es portadora ni está afectada.
- El segundo hijo porta un gen X y uno Y, ambos normales, de modo que es un varón que no porta el gen anormal. En consecuencia, no es portador ni está afectado.
- El tercer hijo es una niña que porta el gen anormal, pero la acción de ese gen es bloqueada por el otro gen X, normal, de modo que la niña no está afectada, pero es portadora.
- El cuarto hijo es un varón que porta un gen X anormal y un gen Y normal. Por desgracia, el gen Y gen es incapaz de bloquear la acción del gen anormal, por lo que es portador y también estará afectado.

En consecuencia, se determina que son posibles los siguientes resultados:

- Una de cada dos niñas (50%) será portadora
- Uno de cada dos varones (50%) estará afectado.

Manejo de medicamentos

Trasplantes de médula ósea

Uno de los problemas con los trastornos génicos es que, por desgracia, sólo pueden

tratarse los síntomas, no la enfermedad genética misma. Una de las principales razones de ello es el desconocimiento de las causas subyacentes de los trastornos genéticos por parte de investigadores y personal médico. En consecuencia, la mayoría de esos trastornos no puede curarse, de modo que por el momento lo único realista que puede hacerse es manejar los síntomas. Sin embargo, un tratamiento que conlleva cierto éxito es el trasplante de médula ósea (TMO).

El TMO es la única opción terapéutica conocida para varias enfermedades genéticas, principalmente metabopatías congénitas y tesaurismosis (enfermedades por acumulación patológica de sustancias endógenas o exógenas en los tejidos debido a algún déficit enzimático). Estas enfermedades son causadas por la deficiencia de una sustancia específica en el organismo, por lo común una proteína, que da como resultado la acumulación de sustancias tóxicas en las células.

Entre las tesaurismosis que se tratan con éxito se encuentran:

- Mucopolisacaridosis de Hurler, o MPS I
- Suprarreno-leucodistrofia
- Leucodistrofia metacromática
- Enfermedad de Krabbe
- Enfermedad de Niemann–Pick.

Ha habido otros tratamientos exitosos, pero pocos se han evaluado para saber si la TMO puede resultar de utilidad.

Sin embargo, se ha tratado con TMO a más de 300 pacientes con enfermedad de Hurler, y en muchos casos los donadores han sido hermanos con compatibilidad de antígeno leucocítico humano (HLA) (compatibilidad de HLA completa para los antígenos esenciales; véase capítulo 16). Estos trasplantes requieren esquemas de acondicionamiento, que incluyen dosis altas de quimioterapia, la cual puede causar problemas por sí misma, incluida la muerte. Aquellos en quienes el trasplante es exitoso tienen menos riesgo de sufrir daño de órganos. Sin embargo, a la fecha se sabe poco de los efectos a largo plazo de este tratamiento sobre el crecimiento y el desarrollo esquelético. De enorme importancia es el efecto sobre el sistema nervioso central. Con todo, los resultados muestran que cualquier daño cerebral previo no se revertirá, aunque los estudios a largo plazo parecen mostrar que la ulterior degeneración del sistema nervioso se reduce o incluso se previene.

Mutación espontánea

Debe mencionarse brevemente otra manera en que puede aparecer un gen inusual o anormal y causar trastornos genéticos, la llamada **mutación espontánea**. Debido a la gran rapidez y precisión necesarias en cada duplicación del DNA de las células germinales, o de síntesis de proteínas, es posible que ocurran errores, y de este modo se producen mutaciones genéticas. No hay manera de predecirlas o prevenirlas; lo primero que cualquier víctima sabrá sobre ellas es cuando se manifiesten como enfermedad.

Por último, también están los problemas de mutaciones químicas y traumáticas, debidas a causas externas que pueden provocar ciertas enfermedades, por sus efectos en diversos genes.

Conclusión

Así termina el capítulo sobre genética básica. Aunque la genética puede parecer complicada, es un tema muy importante porque los genes nos hacen ser lo que somos, aunque también pueden hacernos susceptibles a determinados trastornos y tienen que ver con el modo en que reaccionamos al tratamiento de las enfermedades y cómo vivimos, trabajamos, nos relacionamos e incluso sobrevivimos en el mundo.

Glosario

Ácido nucleico. Combinación de ácido fosfórico, azúcares y **bases** orgánicas; los ácidos nucleicos dirigen la síntesis (producción) de proteínas, y de este modo regulan todas las actividades de la célula. **DNA** y **RNA** son ácidos nucleicos.

Adenina. Una de las cuatro bases nitrogenadas del **DNA**.

Alelo. El lugar de los **cromosomas** donde se encuentran los **genes** que codifican la misma función.

Aminoácido. Los aminoácidos, codificados por **genes**, pueden considerarse los bloques de construcción de las proteínas.

Anafase. Etapa de la división celular en que el **cromosoma** se separa y avanza a los **polos** de la célula.

Anticodón. Un **triplete** de **bases** en el **tRNA** que codifica **aminoácidos**, los cuales se unen a otros **tripletes** (o anticodones) para producir las proteínas apropiadas.

Autosoma. Nombre dado a los **cromosomas** que no son los dos **cromosomas** sexuales.

Base. Las bases, partes de la **doble hélice**, son el código que llegado el momento lleva a la formación de proteínas.

Cadena. Partes largas de la **doble hélice**, consistentes en **desoxirribosa** y **fosfato**.

Célula diploide. Célula que contiene dos juegos de **cromosomas** idénticos. Véase **célula haploide**.

Célula haploide. Célula que contiene sólo un juego de **cromosomas**. Véase **célula diploide**.

Centrómero. Punto en el cual dos **cromátides** se unen para formar un **cromosoma**.

Centrosoma. El **organelo** de las células **eucarióticas** que es el principal sitio en que se organizan los microtúbulos. Reviste especial importancia porque regula la división celular.

Ciclo celular. Proceso por el cual una célula se prepara para el crecimiento y la división celulares y los experimenta.

Citosina. Una de las cuatro bases nitrogenadas del **DNA**.

Codón de terminación. Un **triplete** de **bases** que detiene la síntesis de **aminoácidos** una vez que se ha producido la proteína especificada por esa secuencia.

Codón. Un triplete de **bases** en **mRNA** que codifica un **aminoácido** específico.

Cromátide. Una mitad de un **cromosoma**.

Cromosoma. Combinación de **DNA** y proteína que contiene la información genética del organismo.

Cromosomas bivalentes. Par de **cromosomas homólogos** relacionados que se forman después de la duplicación cromosómica, en la que cada cromosoma duplicado consiste de dos **cromátides**.

Desoxirribosa. Parte importante del **DNA**; la desoxirribosa proviene de un azúcar conocido como ribosa que ha perdido un átomo de oxígeno, de ahí su nombre.

DNA. Ácido desoxirribonucleico; parte de la **doble hélice**.

Doble hélice. Dos cadenas de **DNA** unidas entre sí en una espiral.

Ecuador de la célula. Centro de la célula durante la división celular.

Enfermedad recesiva ligada al sexo (o al cromosoma X). Trastorno causado por un defecto en el **gen X** (uno de los genes sexuales). Sólo las mujeres pueden ser portadoras, y sólo los varones pueden tener estos trastornos.

Entrecruzamiento génico. Proceso del comienzo de la **meiosis**, en el cual suele transferirse material genético entre **cromosomas**.

Espermatozoides. Células reproductivas masculinas (gametos masculinos).

Fenotipo. El fenotipo consiste en las características expresadas de una persona, y proviene de la interacción del **genotipo** de la persona con el ambiente.

Fosfato. Grupo inorgánico que forma parte de la **doble hélice**.

Gameto. Célula reproductiva; por ejemplo, **espermatozoide** y **óvulo**.

Gametogénesis. Producción de **gametos**.

Gen dominante. Un **gen** que puede ejercer sus efectos en el cuerpo por sí solo. En otras palabras, domina al **gen recesivo** en el mismo **locus**.

Gen recesivo. Un gen recesivo requiere otro gen recesivo en el mismo **locus** para poder tener un efecto en el organismo. En otras palabras, no es **dominante** sobre otro **gen** en el mismo **locus**.

Gen. Unidad de la **herencia** en un ser vivo.

Genética mendeliana. La genética de la herencia (así llamada en honor de Gregor Mendel).

Genotipo. El genotipo de una persona es su constitución genética. Véase **fenotipo**.

Guanina. Una de las cuatro bases nitrogenadas del **ADN**.

Herencia. Transferencia de **genes** de generación en generación.

Heterocigoto. Par de **alelos** distintos para un **locus génico** dado. Véase **homocigoto**.

Heterólogo. “Diferente”, en oposición a **homólogo**, que significa “el mismo”.

Histonas. Proteínas presentes en el núcleo celular, que empaquetan y ordenan el **ADN** en **nucleosomas**, con lo que hacen posible que los **cromosomas** quepan en la célula sin enredarse.

Homocigoto. Un par de **alelos** idénticos para un **locus génico** dado. Véase **heterocigoto**.

Homólogo. “Mismo”; véase **heterólogo**.

Interfase. Etapa más larga del **ciclo celular**, durante la cual la célula crece y se prepara para la duplicación.

Locus. Posición de un **gen** en un **cromosoma**.

Meiosis. Proceso implicado en el desarrollo de organismos completos, en el cual **células diploides** se hacen **haploides**, con lo que aseguran que se transfiera el número correcto de **cromosomas** a la descendencia.

Metafase. Etapa del **ciclo celular** en que los **cromosomas** se desplazan al **ecuador** de la célula en preparación para separarse.

Mitosis. Proceso por el cual los **cromosomas** se reproducen de manera precisa en las células durante la división celular.

mRNA. Ácido ribonucleico mensajero; importante en la producción de proteínas a partir de **aminoácidos**.

Nucleosoma. Unidad básica del **DNA** una vez que éste se empaqueta en el núcleo de

una célula; consiste de un segmento de **DNA** enrollado alrededor de una **histona**.

Nucleótido. Nombre de las partes del **DNA** consistentes en un azúcar (desoxirribosa) y una de las cuatro **bases (adenina, timina, guanina y citosina)**. En otras palabras, es el bloque estructural de los **genes**.

Óvulo. Célula reproductiva femenina.

Polos de la célula. Los extremos de una célula durante las etapas de la división celular.

Primera ley de Mendel. Sólo un **alelo** de cada progenitor puede ser heredado por los hijos.

Profase. Primera etapa de la división celular, en que los **chromosomas** se agrupan y se hacen más visibles.

Ribosomas. Pequeñas estructuras con forma de cuentas en una célula que, junto con el **RNA**, intervienen en la producción de proteínas a partir de **aminoácidos** (véase el capítulo 2).

RNA. Ácido ribonucleico; se **transcribe** a partir del **DNA**.

Segunda ley de Mendel. Durante la **gametogénesis**, los miembros de diferentes pares de **alelos** se distribuyen al azar, independientemente uno de otro.

Telofase. Etapa de la división celular en que la célula realmente se divide y forma dos células hijas idénticas.

Timina. Una de las cuatro bases nitrogenadas del **DNA**.

Traducción. Proceso que permite entender lo que está escrito en otro lenguaje. En genética, la traducción

es el proceso por el cual la información en las bases del **mRNA** se usa para especificar los **aminoácidos** de una proteína.

Transcripción. Proceso por el cual lo que está escrito en un lenguaje se transfiere a otro. En genética, se refiere al cambio de **DNA** a **RNA**.

Trastorno autosómico dominante. Afección causada por un **gen dominante defectuoso** heredado de uno de los progenitores.

Trastorno autosómico recesivo. Afección causada por el mismo error en **genes recesivos** heredados de ambos progenitores.

Trastorno por mutación espontánea. Enfermedad causada por un defecto nuevo en un **gen**; esto es, ninguno de los padres porta ese **gen** defectuoso.

Tripletes. Secuencias de tres **bases de RNA** que codifican diferentes aminoácidos.

tRNA. Ácido ribonucleico de transferencia; es importante en la producción de proteínas a partir de **aminoácidos**.

Bibliografía

- Crespi, B. (2008) Turner syndrome and the evolution of human sexual dimorphism. *Evolutionary Applications* 1(3): 449–461.
- Jorde, L.B., Carey, J.C., Bamshad, M.J. and White, R.L. (2009) *Medical Genetics*, 4th edn. St Louis, MO: Mosby.
- LeMone, P., Burke, K., Bauldoff, G. and Gubrud, P. (2015) *Medical–Surgical Nursing: Critical Thinking in Client Care*, 6th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Lister Hill National Center for Biomedical Communications (2010) *Genetics Home Reference: Your Guide to Understanding Genetic Conditions*. Bethesda, MD: NIH; p. 17. <http://ghr.nlm.nih.gov/handbook.pdf> (accessed 18 November 2015).
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2014) *Principles of Anatomy and Physiology*, 14th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Lecturas adicionales

- Bartels, D. (2010) *Genetic Counseling: Ethical Challenges and Consequences*. Piscataway, NJ: Transaction Publishers.
- Fletcher, H. and Hickey, I. (2012) *BIOS Instant Notes in Genetics*, 4th edn. Abingdon: Taylor & Francis.
- Jones, S. and Van Loon, B. (2014) *Introducing Genetics: A Graphic Guide*. London: Icon Books Ltd.
- Robinson, T.R. (2010) *Genetics for Dummies*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Skirton, H. and Patch, C. (2013) *Genetics for Healthcare Professionals*. New York: Garland Science.
- Vipond, K. (2013) *Genetics: A Guide for Students and Practitioners of Nursing and Health Care*, revised edn. Banbury: Scion Publishing Ltd.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. En el DNA, la citosina se une con:
 - (a) Guanina.
 - (b) Uracilo.
 - (c) Adenina.
 - (d) Timina.
2. Los nucleótidos tienen los siguientes tres componentes:
 - (a) Base, hélice, aminoácido.
 - (b) Hélice, desoxirribosa, base.
 - (c) Fosfato, base, desoxirribosa.
 - (d) Ácido ribonucleico, desoxirribosa, hélice.
3. En condiciones normales, los seres humanos tienen:
 - (a) 44 cromosomas.
 - (b) 46 cromosomas.
 - (c) 47 cromosomas.
 - (d) 45 cromosomas.
4. La posición que un gen ocupa en un cromosoma se conoce como:
 - (a) Alelo.
 - (b) Locus.
 - (c) Autosoma.
 - (d) Histona.
5. La síntesis de proteínas es el proceso de:
 - (a) Degradación de proteínas.
 - (b) Codificación de proteínas.
 - (c) Traducción de proteínas.
 - (d) Producción de proteínas.
6. Si un tramo de DNA tiene una secuencia de bases GCGTATGA, entonces la secuencia correspondiente en un mRNA será:
 - (a) TATCGCTG.
 - (b) CGCAUACU.
 - (c) AUAGCGCU.
 - (d) UCUATAUC.
7. Durante la síntesis de proteínas, ¿cuáles de los siguientes se unen en secuencia a los tripletes de tRNA?
 - (a) Proteínas ribosómicas.
 - (b) Codones.
 - (c) Nucleótidos.
 - (d) Aminoácidos.
8. Las cuatro etapas de la mitosis ocurren en el siguiente orden:
 - (a) Metafase, profase, telofase, anafase.
 - (b) Profase, anafase, telofase, metafase.
 - (c) Profase, metafase, anafase, telofase.
 - (d) Anafase, telofase, profase, metafase.

9. El periodo entre el proceso real de la célula y la duplicación nuclear dentro de la célula se conoce como:
- (a) Protofase.
 - (b) Interfase.
 - (c) Refrase.
 - (d) Organofase.
10. En genética mendeliana, la primera ley de Mendel establece que:
- (a) Los alelos son diferentes secuencias de material genético que ocupan el mismo locus.
 - (b) Los seres humanos tienen 46 cromosomas.
 - (c) Un hijo sólo puede heredar un alelo de cada progenitor.
 - (d) Diferentes pares de alelos se distribuyen de manera independientemente entre sí.

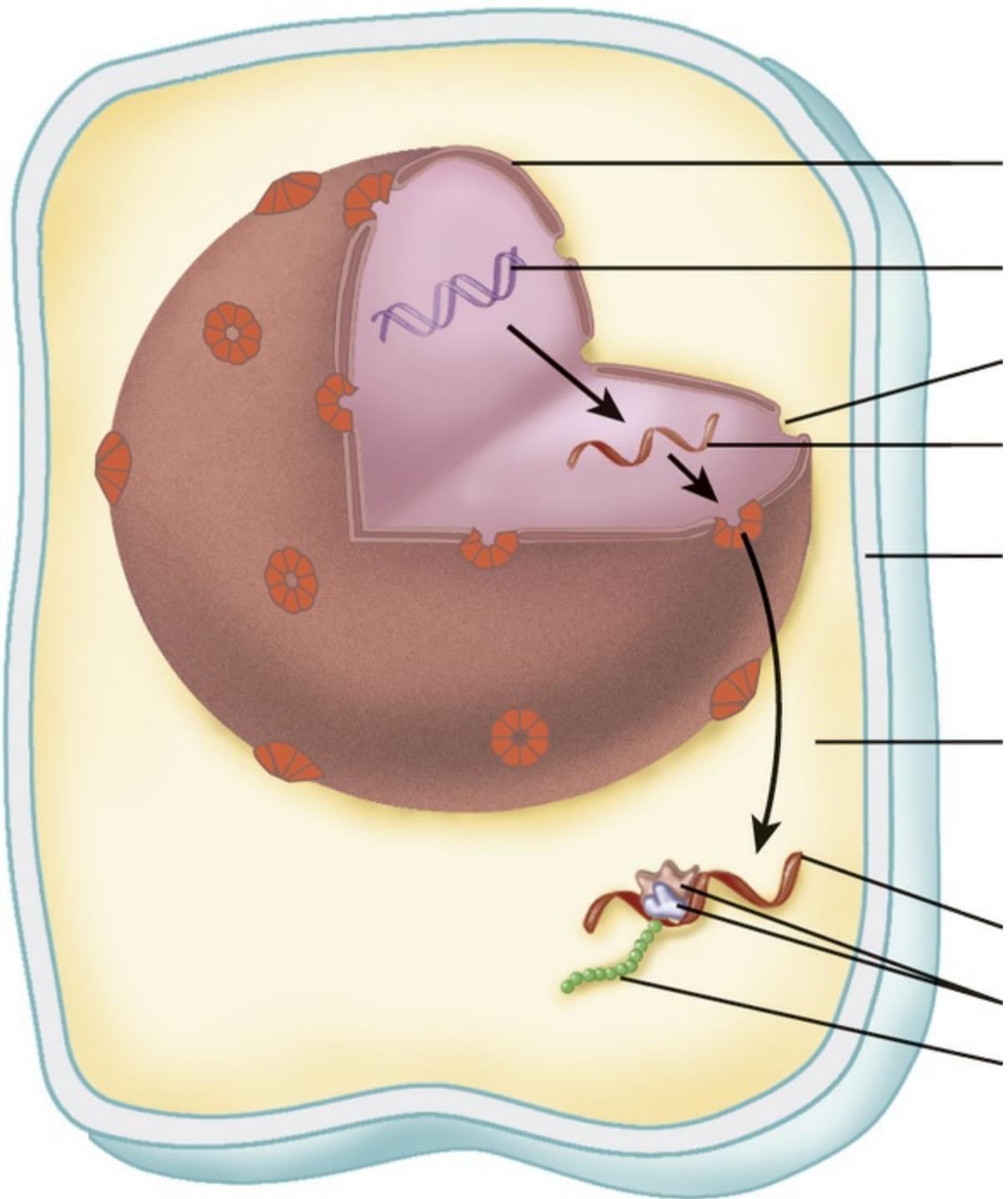
Falso o verdadero

- 1. Los genes son tramos de RNA portados en los cromosomas.
- 2. El ácido desoxirribonucleico es un componente importante del DNA.
- 3. El DNA consta de desoxirribosa, fosfato y base.
- 4. Cada cromosoma consiste en dos centrómeros unidos por una cromátide.
- 5. En la doble hélice, las bases están unidas entre sí por enlaces de hidrógeno.
- 6. Durante la síntesis de proteínas, la síntesis de aminoácidos/proteína es detenida en el punto correcto por un anticodón.
- 7. La enfermedad de Huntington es un ejemplo de herencia ligada al sexo.
- 8. Los trastornos autosómicos dominantes suelen ser más graves que los autosómicos recesivos.
- 9. La distrofia muscular progresiva infantil (Duchenne) es un ejemplo de herencia ligada al sexo.
- 10. En los trastornos autosómicos dominantes, estadísticamente hay una probabilidad de 25% de tener un hijo afectado.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Núcleo, DNA, Poro nuclear, RNA, Membrana plasmática, Citoplasma, RNA, Ribosoma, Proteína



Fuente: Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Transcripción, Traducción, DNA, RNA, Proteína



Ponga a prueba su aprendizaje

1. Describa DNA, RNA, cromosoma.
2. Explique cómo se organiza el cromosoma de modo que quepa en una célula.
3. Explique los genes dominantes y recesivos.
4. Enumere las bases del DNA y sus bases correspondientes en el RNA.
5. Describa con sus propias palabras el proceso de síntesis de proteínas.
6. Enumere las etapas de mitosis y meiosis.
7. Explique la importancia del entrecruzamiento génico durante la meiosis.
8. Analice los genes autosómicos dominantes y autosómicos recesivos en relación con la enfermedad.

Llene los espacios

Usando palabras de la lista al final, llene los espacios en blanco:

Durante la síntesis de proteínas todas las instrucciones _____ para producir proteínas se encuentran en _____. La primera etapa de la producción de proteínas implica la _____ de esta información en _____, el cual a su vez se _____ a una secuencia correspondiente de _____ que se unen entre sí para formar moléculas de _____.

aminoácidos, DNA, genéticas, proteína, RNA, transcripción, traduce

Búsqueda de palabras

Encuentre en la siguiente retícula las palabras que se enumeran enseguida:

Aminoácido, Anafase, Portador, Célula, DNA, Mendel, Mitosis, Proteína, Recesivo, RNA, Lágrimas, Telofase, Traducción

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | Y | N | A | S | T | P | O | B | J | E | C | T |
| T | N | U | X | V | Z | R | U | Q | M | N | P | E |
| L | R | A | M | I | N | O | A | C | I | D | O | L |
| P | R | A | E | D | I | T | R | O | T | O | R | O |
| N | T | Z | N | C | O | E | T | G | O | S | T | F |
| P | L | Y | D | S | N | I | E | V | S | C | A | A |
| T | W | Y | E | Y | L | N | R | G | I | O | D | S |
| A | C | E | L | U | L | A | R | S | S | P | O | E |
| N | H | Y | C | O | D | A | T | E | A | E | R | I |
| P | G | R | E | C | E | S | I | V | O | E | R | N |
| L | N | V | N | T | S | A | M | I | R | G | A | L |
| A | Q | U | A | R | E | S | A | F | A | N | A | T |
| N | O | I | C | C | U | D | A | R | T | W | C | Y |

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos genéticos comunes. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej., personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Enfermedad de neurona motora

Síndrome de Prader–Willi

Enfermedad de Alzheimer tipo 2

Neurofibromatosis

Síndrome de Down

Síndrome de Turner



Capítulo 4

Tejidos

Anthony Wheeldon

Ponga a prueba sus conocimientos previos

- Enumere los cuatro tipos principales de tejidos corporales
- ¿Cuáles son las principales funciones del tejido epitelial?
- Nombre los cuatro tipos de tejido conjuntivo
- ¿Cuáles tipos de músculo son involuntarios?
- ¿Cuáles son los principales pasos de la reparación tisular?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir las características del tejido epitelial
- Enumerar las clasificaciones del tejido epitelial
- Exponer las funciones del tejido conjuntivo
- Enumerar las clasificaciones del tejido conjuntivo
- Describir el proceso de la reparación tisular

Introducción

El cuerpo humano consiste en unos 50 billones a 106 billones de unidades funcionales estructurales individuales llamadas células (Marieb y Hoehn, 2008). Las células trabajan juntas para asegurar que se mantenga la homeostasis. Tienen muchos tamaños, formas y lapsos de vida diferentes, pero pueden clasificarse por estructura y función. Un grupo de células con estructura y función similares se denomina tejido, y en el cuerpo humano hay cuatro tipos distintos de tejido. Las células que dan cobertura a órganos y otras estructuras, por ejemplo, se conocen como tejido epitelial, mientras que las células que dan soporte a estructuras reciben el nombre de tejido conjuntivo. Las células que rigen el movimiento son el tejido muscular, y las que ayudan a controlar la homeostasis forman el tejido nervioso. La mayoría de los órganos del cuerpo contienen los cuatro tipos de tejido. El corazón, por ejemplo, contiene tejido muscular, es controlado por tejido nervioso, está recubierto por tejido epitelial y recibe soporte de tejido conjuntivo. Los tejidos tienen también la capacidad de autorrepararse. En este capítulo se examinan los cuatro tipos de tejido y el proceso de reparación tisular.

Tejido epitelial

El tejido epitelial es en esencia una lámina de células que cubre una región del organismo. Este tejido cubre o reviste superficies corporales (p. ej. la piel), o las paredes de los órganos dentro de las cavidades corporales. Su principal función es como entrecara; de hecho, casi todas las sustancias absorbidas o secretadas por el cuerpo deben pasar a través de tejido epitelial. En términos generales, éste tiene seis funciones principales:

- Absorción.
- Protección.
- Excreción.
- Secreción.
- Filtración.
- Recepción sensitiva.

No todo el tejido epitelial realiza las seis funciones. En muchas zonas del cuerpo este tejido se especializa en sólo una o dos funciones. En el aparato digestivo, por ejemplo, se especializa en la absorción de nutrimentos, mientras que en la piel constituye una capa protectora.

Las células del tejido epitelial están unidas entre sí por láminas continuas, que tienen una superficie apical y una basal. La superficie apical da hacia fuera, hacia el exterior del órgano que se cubre. Las superficies apicales pueden ser lisas, pero la mayoría tienen pequeñas proyecciones parecidas a pelos llamadas microvellosidades. Éstas incrementan en gran medida el área superficial del tejido epitelial y por lo tanto aumentan su capacidad de absorción y secreción. Algunas superficies, por ejemplo de las vías respiratorias, presentan proyecciones piliformes más largas llamadas cilios, que además son capaces de desplazar materiales. Cerca de la superficie basal hay una delgada capa de glucoproteínas que actúa como filtro selectivo, el cual determina cuáles sustancias pueden atravesar el tejido epitelial. Éste es inervado por neuronas, pero carece de riego sanguíneo como tal. En vez de ser irrigado por una red de capilares, el tejido epitelial recibe un aporte de nutrimentos desde los vasos sanguíneos cercanos. Debido a su función protectora, el tejido epitelial debe soportar mucho daño ambiental y abrasión, y las células epiteliales deben ser muy fuertes y resistentes. Esto es posible gracias a su capacidad de dividirse y regenerarse con rapidez, de lo que resulta un recambio expedito de células epiteliales dañadas. Sin embargo, esta capacidad regenerativa depende de un suministro abundante de nutrimentos.

El tejido epitelial puede clasificarse en los tres siguientes tipos:

- Simple.
- Estratificado.
- Glandular.

El epitelio simple consiste de una sola capa de células unidas en una lámina continua. El epitelio estratificado también se dispone en una lámina continua, pero es más grueso, al integrarse en numerosas capas de células. El epitelio glandular forma las glándulas del cuerpo.

Todas las células epiteliales tienen seis lados; de hecho, al microscopio un corte transversal de tejido epitelial se parece a un panal de abejas. Las células epiteliales pueden subdividirse además en las siguientes tres formas de seis lados:

- Cúbicas.
- Cilíndricas.
- Pavimentosas.

Como su nombre sugiere indica, las células epiteliales cúbicas y cilíndricas tienen esa forma aproximada, mientras que las células epiteliales pavimentosas son más bien planas y escamosas (figura 4-1). Cuando se estudian los distintos tipos de células epiteliales, es fácil recordar tamaño y forma con base en el nombre. Por ejemplo, el epitelio pavimentoso (o “escamoso”) simple es delgado, plano y parecido a escamas.

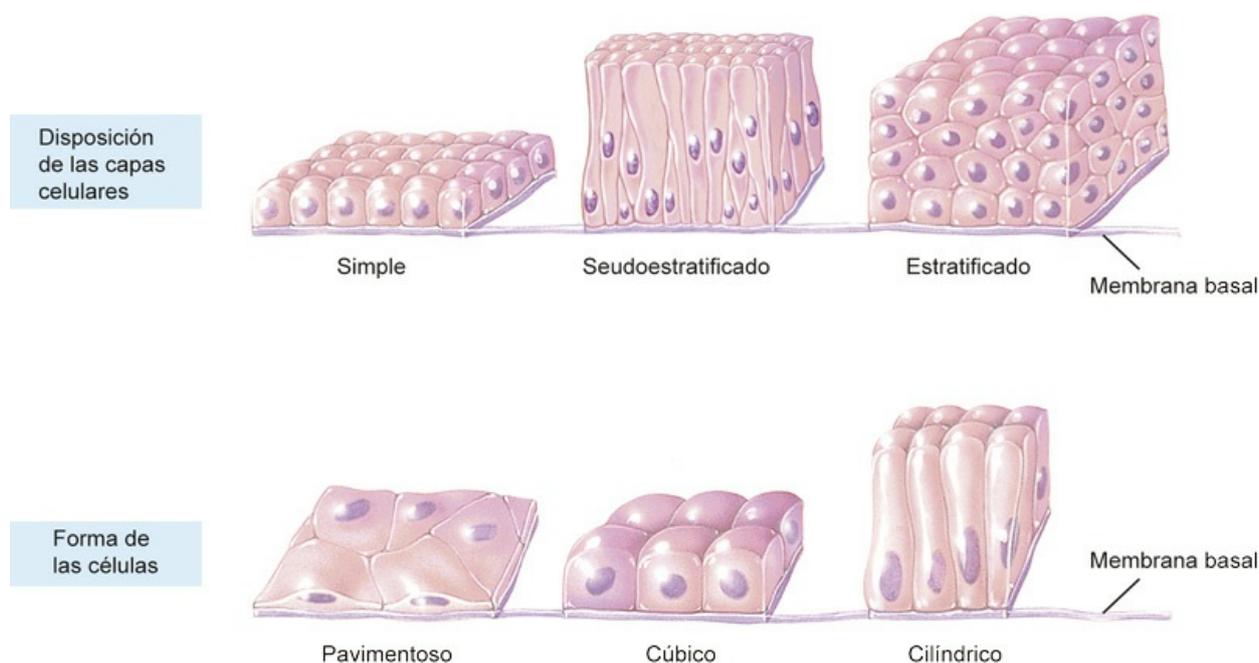


Figura 4-1. El tejido epitelial se clasifica según su forma y profundidad. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Epitelio simple

Dado que los epitelios simples constan de una sola capa celular, se especializan en la absorción, secreción y filtración más que en la protección.

Con mucha frecuencia, el **epitelio pavimentoso simple** es muy permeable y se encuentra donde es esencial la difusión de nutrientes. Paredes capilares, alvéolos pulmonares y glomérulos renales están todos recubiertos de epitelio

pavimentoso simple, que facilita la rápida difusión de nutrientes. También hay epitelio pavimentoso simple dentro del corazón y los vasos sanguíneos y linfáticos, en cuyo caso se denomina endotelio (figura 4-2).

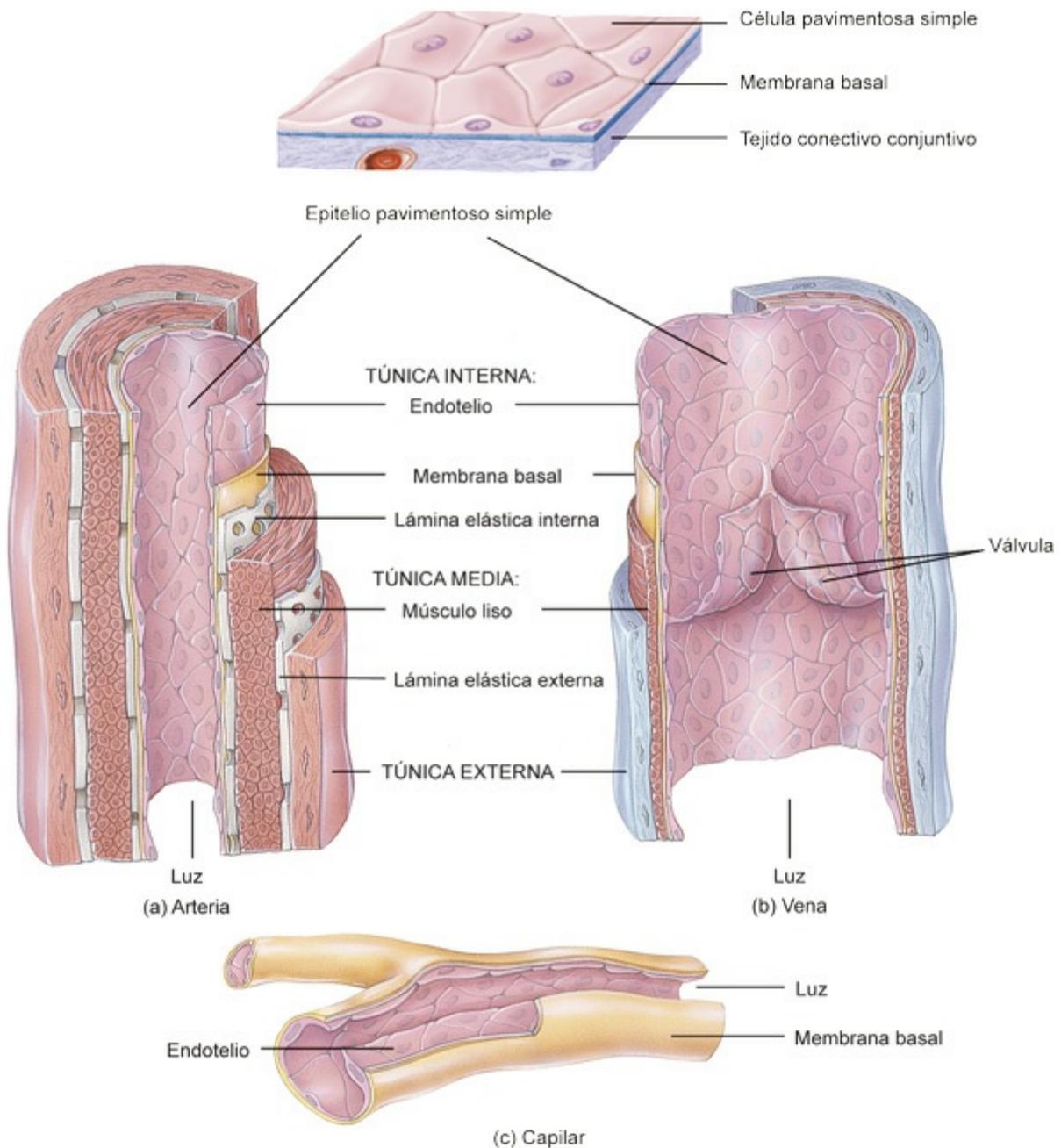


Figura 4-2. (a–c) El epitelio pavimentoso simple forma la capa endotelial de los vasos sanguíneos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El **epitelio cúbico simple** se especializa en la secreción y también en la absorción. Se encuentra en el recubrimiento de los ovarios, los túbulos renales y los conductos de glándulas pequeñas. También forma parte de las porciones secretoras de glándulas como la tiroides y el páncreas (figura 4-3).

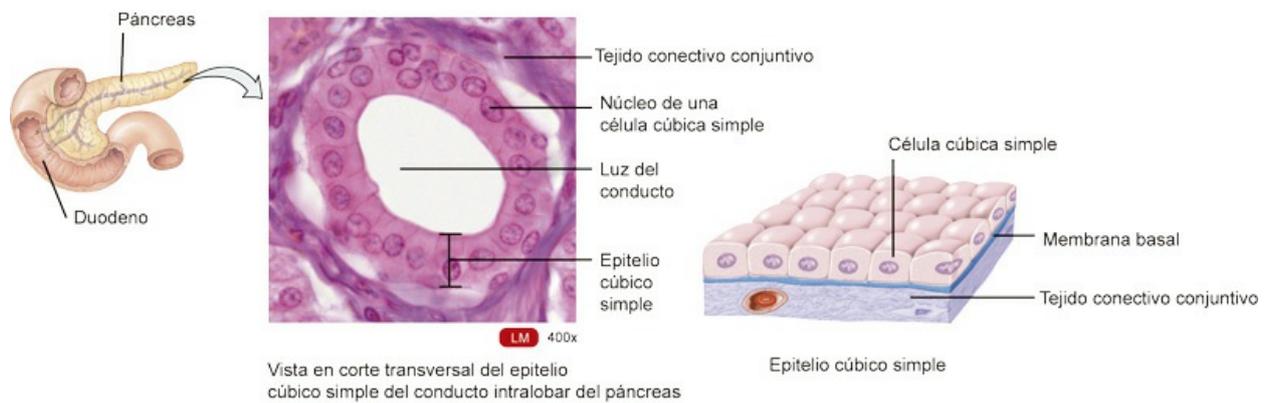


Figura 4-3. El epitelio cúbico simple forma parte de la porción secretoria del páncreas. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El **epitelio cilíndrico simple** puede ser ciliado o no ciliado. Como el término implica, el ciliado presenta cilios en su superficie apical. Se encuentra en zonas del cuerpo en que se requiere el movimiento de líquidos, moco u otras sustancias. El tejido epitelial cilíndrico simple ciliado reviste por ejemplo las trayectorias del sistema nervioso central y ayuda a impulsar el líquido cefalorraquídeo. También recubre las trompas de Falopio y ayuda a desplazar los ovocitos recién expulsados de los ovarios (figura 4-4). Un sitio común de epitelio cilíndrico simple no ciliado es el recubrimiento del tubo digestivo, desde el estómago hasta el recto (figura 4-5). El epitelio cilíndrico simple no ciliado tiene dos funciones generales. Algunos tipos poseen microvellosidades, que incrementan en gran medida su área superficial para la absorción; otros se especializan en la secreción de moco. Tales células se denominan células caliciformes debido a su forma de copa o cáliz. Las células epiteliales cilíndricas simples suelen ser de tamaño uniforme. Sin embargo, en algunos casos varían en altura, y sólo las más altas alcanzan la superficie apical. Esto da la ilusión de que el tejido tiene muchas capas, como el epitelio estratificado. Tales ejemplos de tejido epitelial cilíndrico se denominan **epitelio cilíndrico pseudoestratificado**. Éste se encuentra en el recubrimiento del aparato reproductor masculino; sin embargo, el sitio más común es el recubrimiento de las vías respiratorias (figura 4-6).

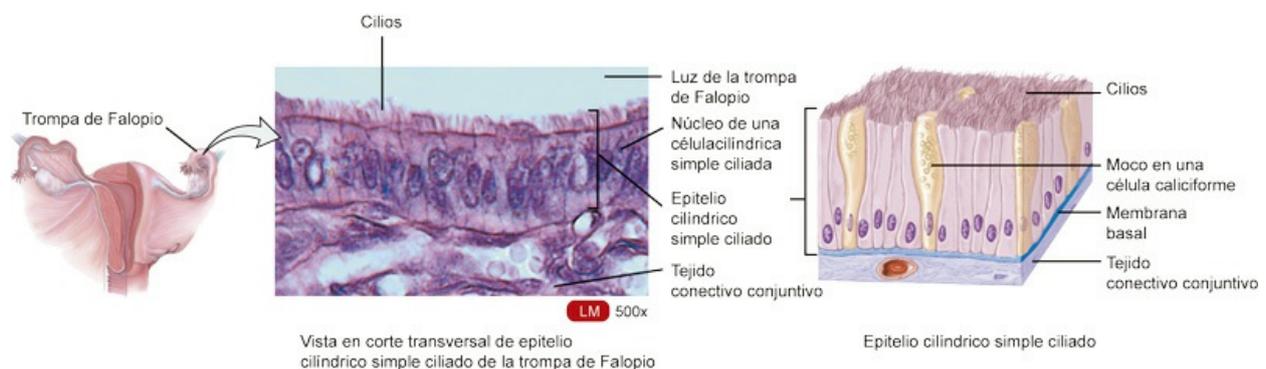


Figura 4-4. El epitelio cilíndrico simple ciliado recubre las trompas de Falopio.

Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

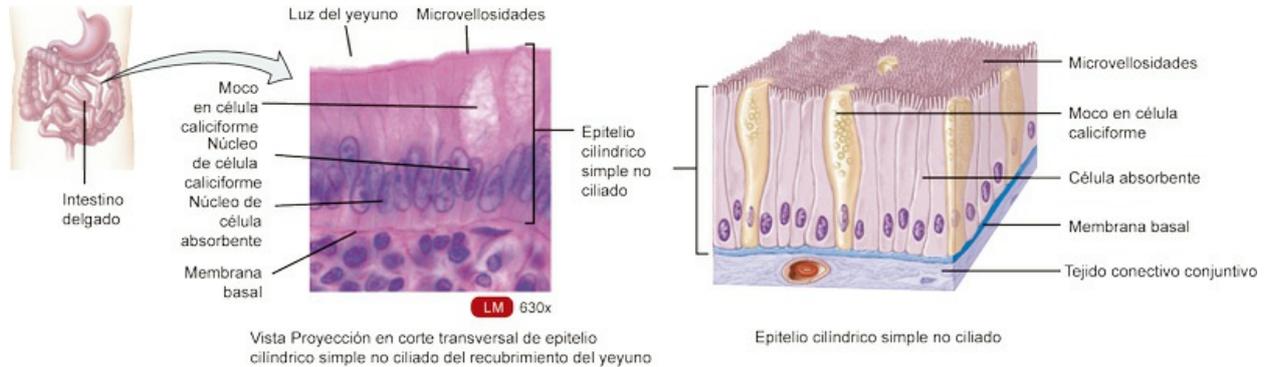


Figura 4-5. El epitelio cilíndrico no ciliado recubre el tubo digestivo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

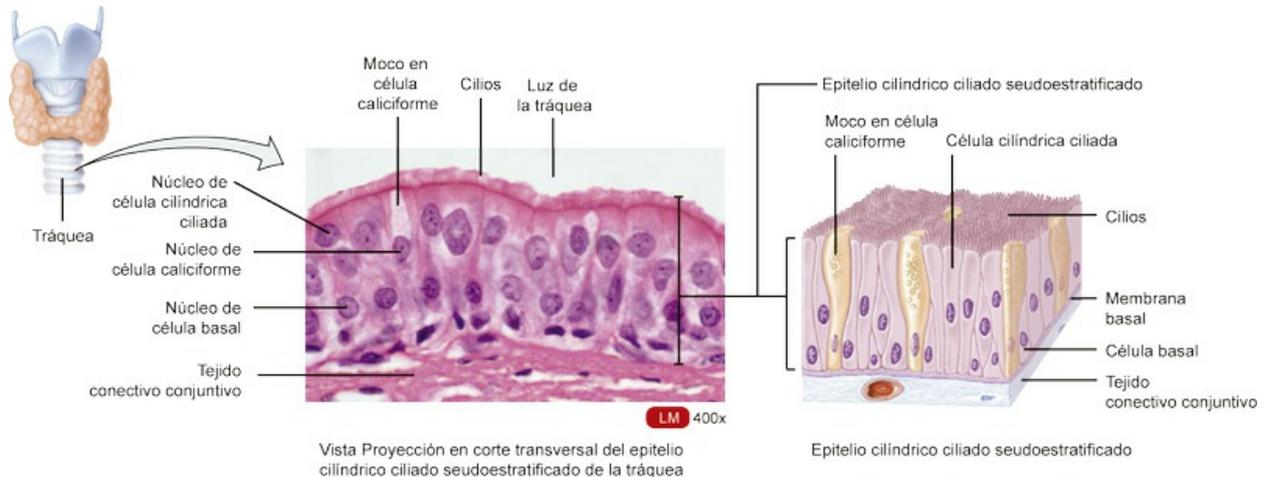


Figura 4-6. El epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado reviste la tráquea. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Epitelio estratificado

A diferencia de los epitelios simples, los epitelios estratificados tienen muchas capas. Las células se regeneran desde abajo; las células nuevas se dividen en la capa basal y empujan las antiguas hacia la superficie. Dado que el epitelio estratificado es más grueso, su principal función es proteger.

El **epitelio pavimentoso estratificado** es el epitelio estratificado más común y forma la parte externa de la piel (capítulo 17). El tejido epitelial pavimentoso estratificado está queratinizado, endurecido por la presencia de queratina, una proteína fibrosa dura especial. El tejido epitelial pavimentoso estratificado no queratinizado recubre zonas húmedas del cuerpo: boca, lengua y vagina, (figura 4-7). En realidad, sólo las capas externas del epitelio pavimentoso estratificado tienen forma escamosa; las capas basales pueden ser cúbicas o cilíndricas.

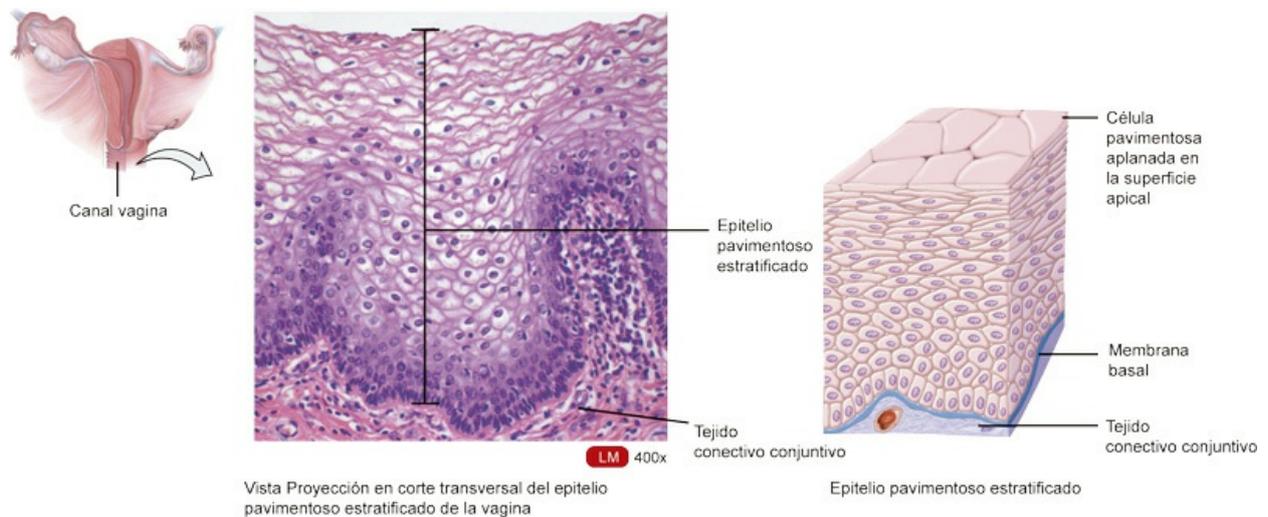


Figura 4-7. El tejido epitelial pavimentoso estratificado no queratinizado recubre la vagina. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El **epitelio cúbico estratificado** se encuentra en el esófago, glándulas sudoríparas y uretra masculina (figura 4-8). Sin embargo, el **epitelio cilíndrico estratificado** es bastante raro. Puede hallarse en pequeñas cantidades en la uretra masculina y en los conductos de algunas glándulas. Otro ejemplo común de epitelio estratificado es el **epitelio de transición**, que puede tener tanto células pavimentosas como cúbicas en su superficie apical. La superficie basal puede contener tanto células cúbicas como cilíndricas. El epitelio de transición puede soportar mucho estiramiento, y se encuentra en órganos como la vejiga urinaria, que se somete a considerable distensión (figura 4-9).

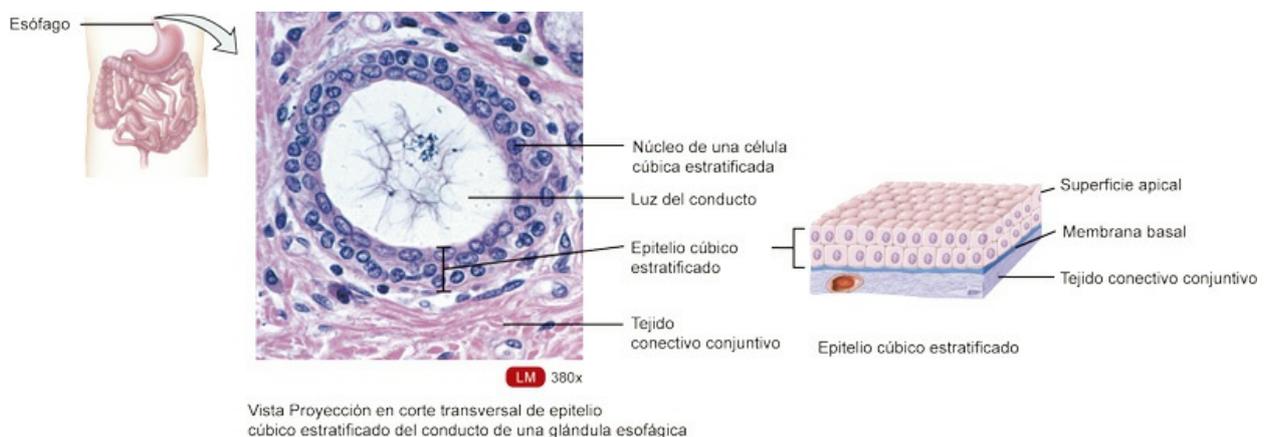


Figura 4-8. El tejido epitelial cúbico se encuentra en el esófago. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

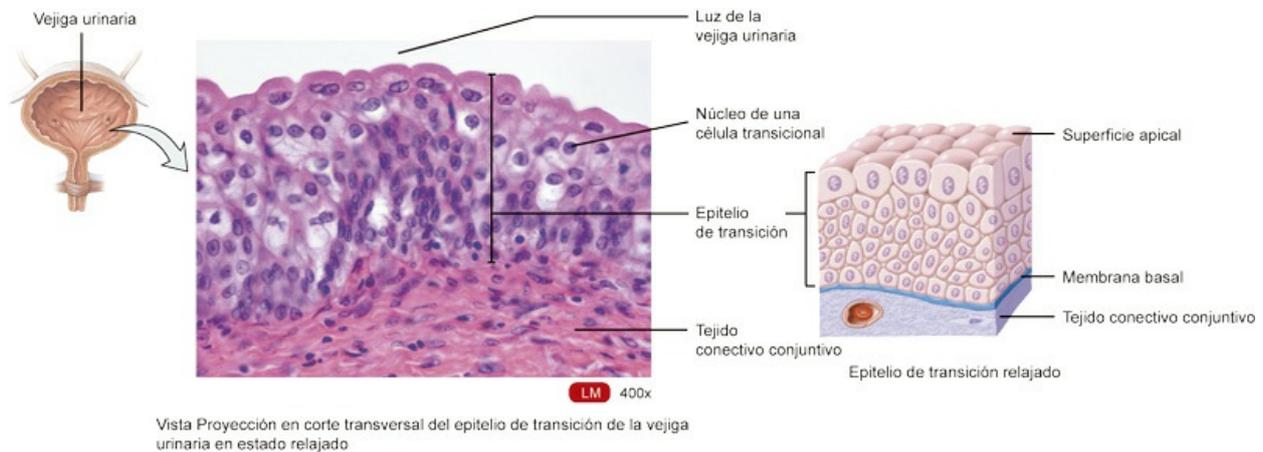


Figura 4-9. El epitelio de transición recubre la vejiga y permite su distensión.
Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Epitelios glandulares

Las glándulas del organismo están formadas por epitelios glandulares. Todas las glándulas se clasifican como *endócrinas*, *exócrinas* o *mixtas*. Las glándulas que secretan sus productos internamente se denominan glándulas endocrinas. Éstas liberan hormonas, sustancias reguladoras que se usan en otras partes del cuerpo (capítulo 15). Las glándulas exocrinas liberan sus productos en las superficies del tejido epitelial, y son *unicelulares* o *multicelulares*. Las glándulas exocrinas unicelulares consisten en un solo tipo de célula, y el principal ejemplo son las células caliciformes, que liberan una glucoproteína llamada mucina. Una vez que se disuelve en agua, la mucina forma moco, que lubrica y protege superficies. Las glándulas exocrinas multicelulares son bastante más complejas, y tienen distintos tamaños y formas. Algunas glándulas exocrinas son simples y consisten en un solo conducto ramificado, mientras que otras son más complejas, con conductos muy ramificados (figura 4-10). Sin embargo, todas contienen dos zonas bien delimitadas: un conducto epitelial y células secretoras (acino). Las glándulas exocrinas de forma tubular pueden encontrarse en el aparato digestivo, en particular en el estómago. Otras glándulas exocrinas son esféricas y se denominan alveolares o acinares. Las glándulas oleosas de la piel y las glándulas mamarias son dos ejemplos de glándulas exocrinas esféricas o acinares. Las glándulas que son tanto tubulares como acinares se llaman tubulacinares. Por ejemplo, las glándulas salivales son tubulacinares.

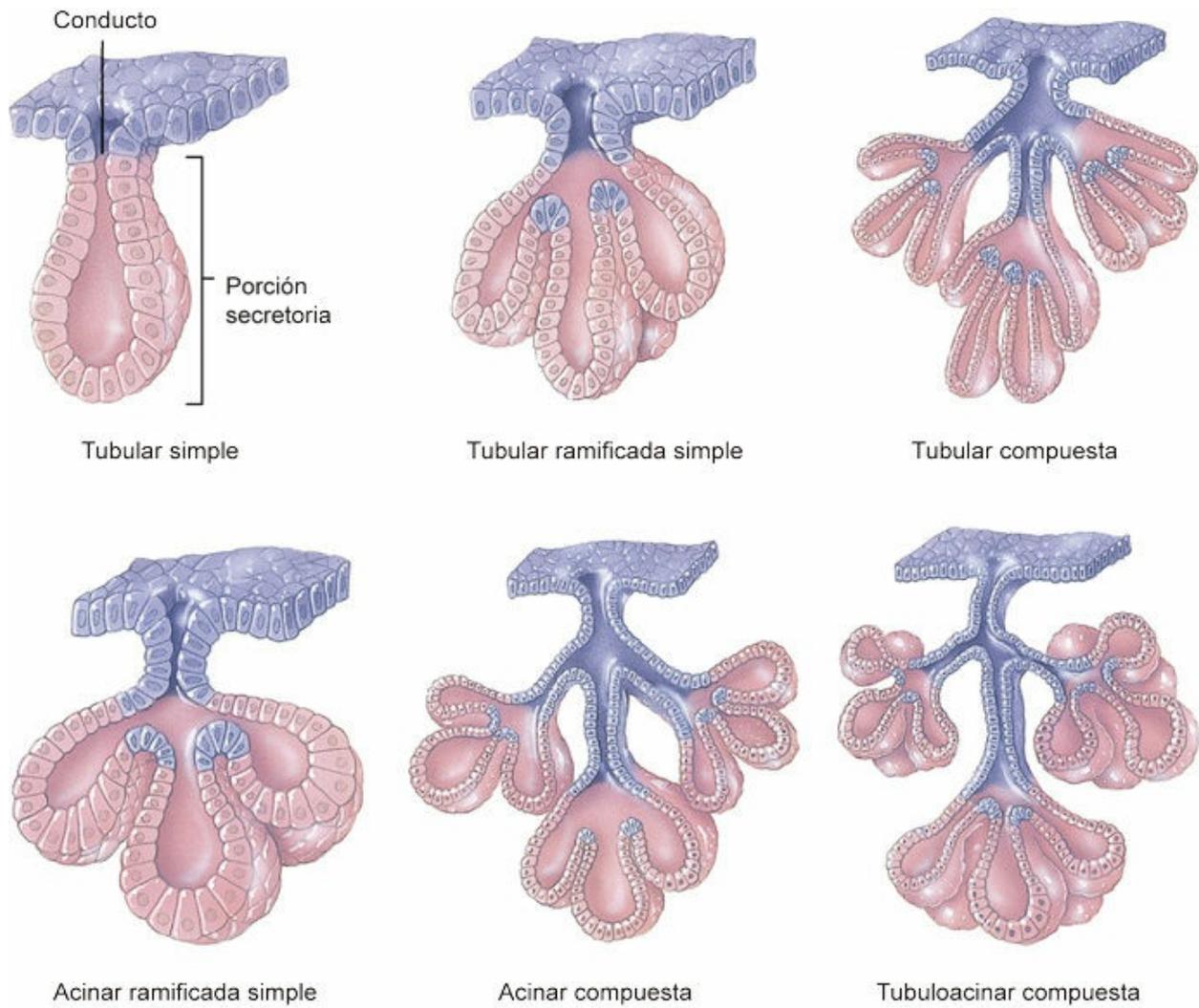


Figura 4-10. Glándulas exocrinas clasificadas por su forma, con ejemplos de localización. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Tejido conjuntivo

El tejido conjuntivo (también llamado tejido conectivo) es el más abundante en el cuerpo humano. Sus principales funciones son la unión de tejidos, refuerzo, aislamiento, protección y soporte. Todo tejido epitelial es reforzado por la base de tejido conjuntivo sobre la que descansa (figura 4-11). Hay cuatro tipos de tejido conjuntivo:

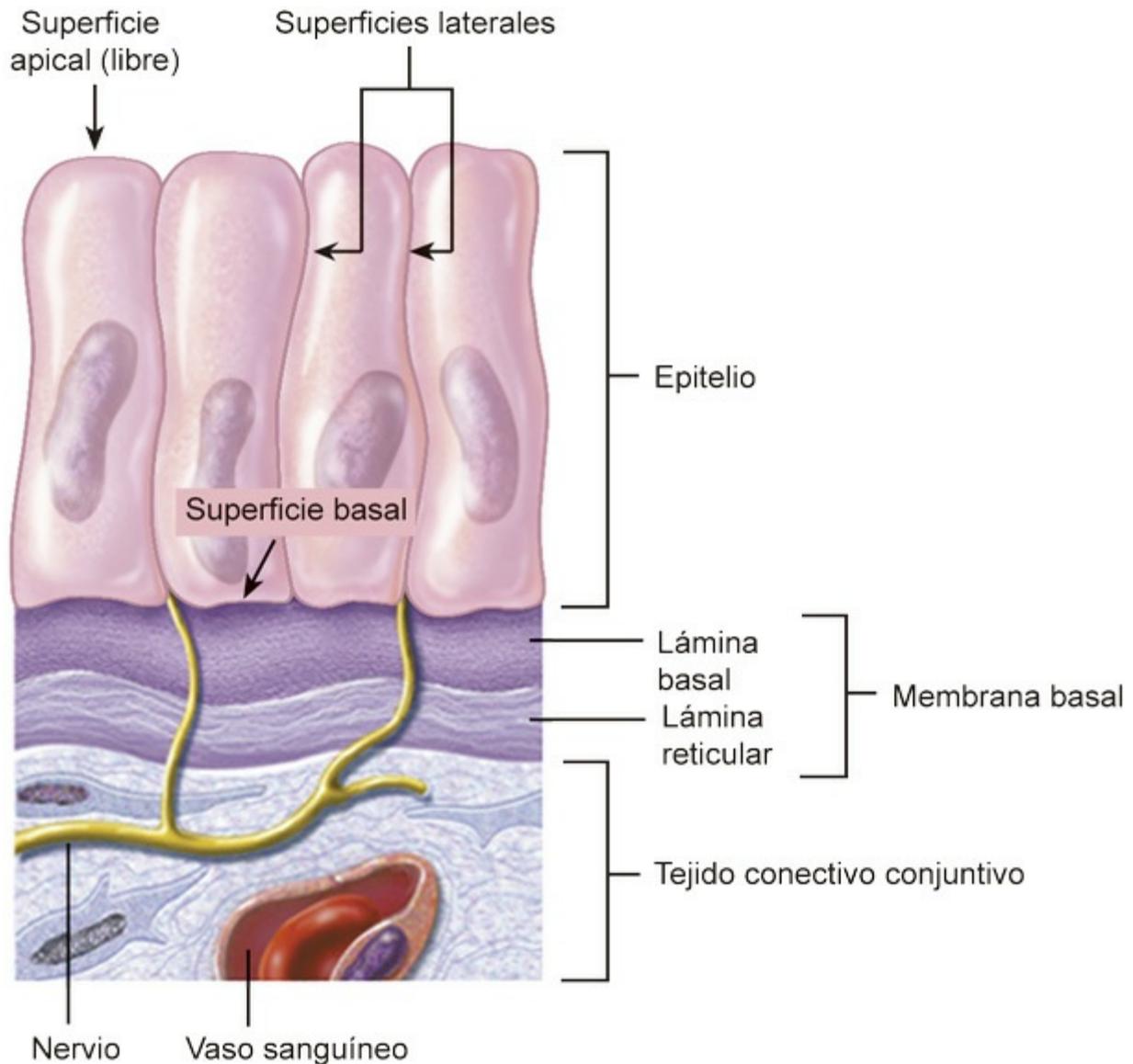


Figura 4-11. El tejido conjuntivo refuerza el tejido epitelial. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Tejido conjuntivo propiamente dicho.
- Cartílago.
- Hueso.
- Tejido conjuntivo líquido.

El tejido conjuntivo no está presente en superficies corporales y, a diferencia

del tejido epitelial, está muy vascularizado y recibe un rico aporte sanguíneo.

Los siguientes tipos de células están presentes en el tejido conjuntivo:

- Adipocitos.
- Blastocitos primarios.
- Macrófagos.
- Plasmocitos.
- Mastocitos.
- Leucocitos (glóbulos blancos).

Los adipocitos son células que almacenan grasa. Dentro del tejido conjuntivo, los adipocitos almacenan triglicéridos (grasas). Los blastocitos primarios secretan sustancia fundamental en forma continua y producen células de tejido conjuntivo maduras. Cada tipo de tejido conjuntivo contiene sus propios blastocitos primarios únicos (cuadro 4-1). Macrófagos, plasmocitos y leucocitos forman parte del sistema inmunitario. Sus funciones son las siguientes:

Cuadro 4-1. Principales blastocitos primarios y su tipo de tejido conjuntivo

| Tipo de tejido conjuntivo | Blastocito primario | Célula de tejido conjuntivo |
|---------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Tejido conjuntivo propio | Fibroblasto | Fibrocyto |
| Cartílago | Condroblasto | Condrocyto |
| Hueso | Osteoblasto | Osteocito |

- Los macrófagos engullen sustancias invasoras, y los plasmocitos (células plasmáticas) producen anticuerpos.
- En condiciones normales no se encuentran leucocitos en cantidades significativas en el tejido conjuntivo; sin embargo, migran aquí durante la inflamación.
- Los mastocitos o células cebadas producen histamina, que promueve la vasodilatación durante la reacción inflamatoria del organismo.

Las células del tejido conjuntivo están rodeadas por diversas sustancias denominadas matriz extracelular. La función de la matriz extracelular es asegurar que el tejido conjuntivo soporte peso y tensión, abuso y abrasión. Como resultado, el tejido conjuntivo puede soportar esfuerzos y deformaciones que otros tejidos no serían capaces de tolerar. Los dos principales elementos de la matriz extracelular son:

- Sustancia fundamental.
- Fibras.

Sustancia fundamental: Consiste de líquido intersticial, proteínas de adhesión

celular y glucosaminoglucanos. Las proteínas de adhesión celular actúan como cemento conjuntivo, que mantiene juntas las células del tejido. Los glucosaminoglucanos capturan agua y aseguran que la sustancia fundamental tenga consistencia gelatinosa. A mayor cantidad de glucosaminoglucanos presente, más firme será la sustancia fundamental.

Fibras: Hay tres tipos de fibras dentro de la matriz extracelular:

- De colágeno.
- Elásticas.
- Reticulares.

Las **fibras de colágeno** son las más abundantes dentro de la matriz extracelular, y son en esencia la proteína llamada colágeno. El colágeno es muy resistente; de hecho, las fibras de colágeno son más fuertes que las fibras de acero de tamaño similar (Marieb y Hoehn, 2008). Las **fibras reticulares** son mucho más delgadas pero también contienen haces de colágeno. Dan soporte y resistencia, y se encuentran en mayores cantidades en órganos blandos como el bazo y los ganglios linfáticos. Las **fibras elásticas** contienen la proteína con consistencia de caucho llamada elastina, que facilita el estiramiento y recuperación al tamaño original. Las fibras elásticas se encuentran en mayor cantidad en tejidos que deben soportar estiramiento, como la piel y las paredes de los vasos sanguíneos (figura 4-12).

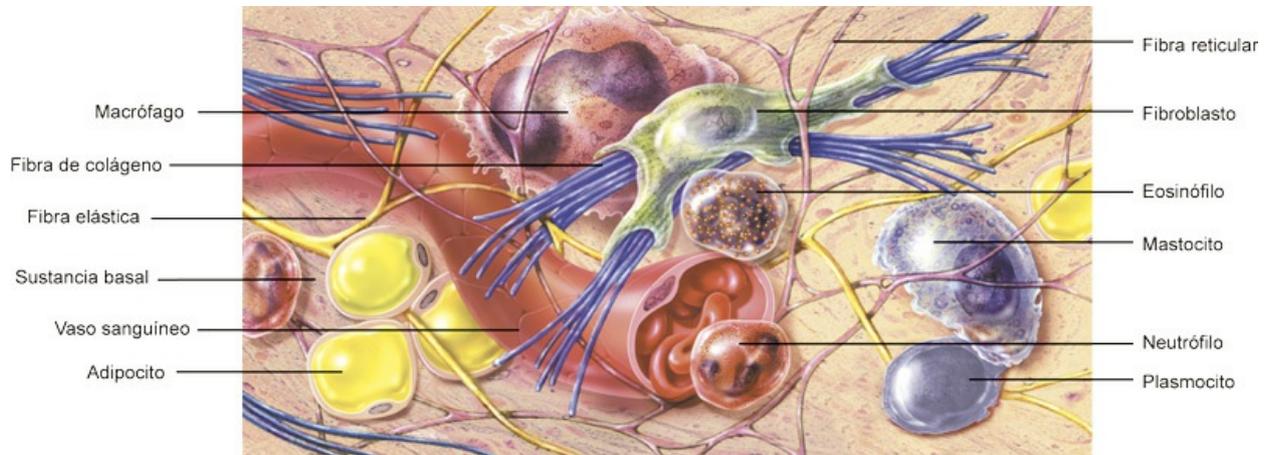


Figura 4-12. Constituyentes del tejido conjuntivo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Tejido conjuntivo propio

Aparte de cartílago, hueso y sangre, todo el tejido conjuntivo restante pertenece a esta clase. El tejido conjuntivo propio se subdivide en:

- Tejido conjuntivo laxo.
- Tejido conjuntivo denso.

El tejido conjuntivo laxo contiene menos fibras que el denso (cuadro 4-2).

Cuadro 4-2. Tipos de tejido conjuntivo propio, principales constituyentes, funciones y localizaciones

| Tejido conjuntivo | Principal constituyente | Funciones | Principales localizaciones |
|-------------------|--|--|---|
| Areolar laxo | Fibras de colágeno, elásticas, reticulares | Fuerza Elasticidad Soporte | Capa subcutánea (bajo la piel) |
| Adiposo laxo | Adipocitos | Aislamiento Protección Depósito de energía | Capa subcutánea (bajo la piel) Tejido que rodea corazón y riñones Acolchado de articulaciones |
| Reticular laxo | Fibras reticulares Células reticulares | Soporte Filtración | Hígado Bazo Ganglios linfáticos |
| Regular denso | Fibras de colágeno en paralelo | Fuerza Soporte | Tendones Ligamentos |
| Irregular denso | Fibras de colágeno dispuestas al azar | Fuerza | Piel Corazón Tejido que rodea hueso Tejido que rodea cartílago |
| Elástico denso | Fibras elásticas | Estiramiento | Tejido pulmonar Arterias |

Tejido conjuntivo laxo

Hay tres tipos de tejido conjuntivo laxo:

- Areolar.
- Adiposo.
- Reticular.

El tipo **areolar** es el tejido conjuntivo laxo más abundante. Contiene las tres clases de fibras (de colágeno, elásticas y reticulares) y sus principales funciones son el soporte, elasticidad y resistencia. El tejido areolar se combina con el tejido adiposo para formar la capa subcutánea, que conecta la piel con otros tejidos y órganos.

El tejido **adiposo** contiene adipocitos, cuya función principal es almacenar triglicéridos (grasa). Las principales funciones del tejido adiposo son las de

aislamiento, protección y como reserva de energía.

El tejido **reticular** sólo contiene fibras reticulares. Su principal función es formar una armazón protector o estroma que rodea al hígado, bazo y ganglios linfáticos. Dentro del bazo, el tejido conjuntivo reticular también puede filtrar la sangre, con lo que ayuda a la eliminación de células sanguíneas envejecidas.

Tejido conjuntivo denso

El tejido conjuntivo denso contiene más fibras de colágeno o elásticas. El que está constituido sobre todo por colágeno se clasifica como **regular** o **irregular** según la organización de las fibras. El tejido conjuntivo denso regular contiene fibras de colágeno dispuestas en filas paralelas. Tiene aspecto plateado y es al mismo tiempo resistente y flexible. El tejido conjuntivo denso irregular se encuentra en los ligamentos y tendones. Sus fibras de colágeno se disponen al azar pero se entretajan en forma apretada. Este tejido soporta presión y fuerzas de tracción, y se halla en la piel y el corazón, así como en las membranas que rodean al cartílago y al hueso. El tejido conjuntivo denso elástico consiste de fibras elásticas, y se encuentra en zonas del cuerpo que deben soportar mucho estiramiento, como las arterias y el tejido pulmonar.

Cartílago

El cartílago contiene una red compacta de fibras de colágeno y es más fuerte que el tejido conjuntivo laxo y el denso. Tiene la capacidad de recuperar su forma original después de su deformación y movimiento. Su fuerza y resistencia se deben a una sustancia parecida a un gel llamada **sulfato de condroitina**, que se encuentra en su sustancia fundamental. El cartílago está rodeado por una capa de tejido irregular denso llamada **pericondrio**. El pericondrio es la única zona del cartílago que recibe sangre y tejido nervioso. Hay tres tipos de cartílago:

- Hialino.
- Fibrocartílago.
- Elástico.

El cartílago **hialino** es el más común en el cuerpo humano. Consiste sobre todo de fibras de colágeno con células de cartílago; alrededor del 10% de su volumen son condrocitos. Las fibras de colágeno son tan finas que resultan casi invisibles, lo que da al cartílago hialino un aspecto azulado. Dado que este cartílago es tanto fuerte como flexible, puede actuar como amortiguador de impacto, que reduce la fricción alrededor de las articulaciones. El cartílago hialino también se encuentra en la caja torácica y en las vías respiratorias.

El cartílago **elástico** es casi idéntico al hialino, excepto por su mayor presencia de fibras elásticas. El cartílago elástico resiste mejor el movimiento y la flexión, y se halla en zonas del cuerpo en que se requiere capacidad de estiramiento, por ejemplo, en el oído externo.

El **fibrocartilago** es el más fuerte de los tres cartílagos. Su resistencia se debe a la presencia de filas de condrocitos y colágeno. Debido a que soporta grandes presiones, se localiza donde el cartilago hialino se encuentra con tendones o ligamentos, por ejemplo, entre los discos de las vértebras (figura 4-13).

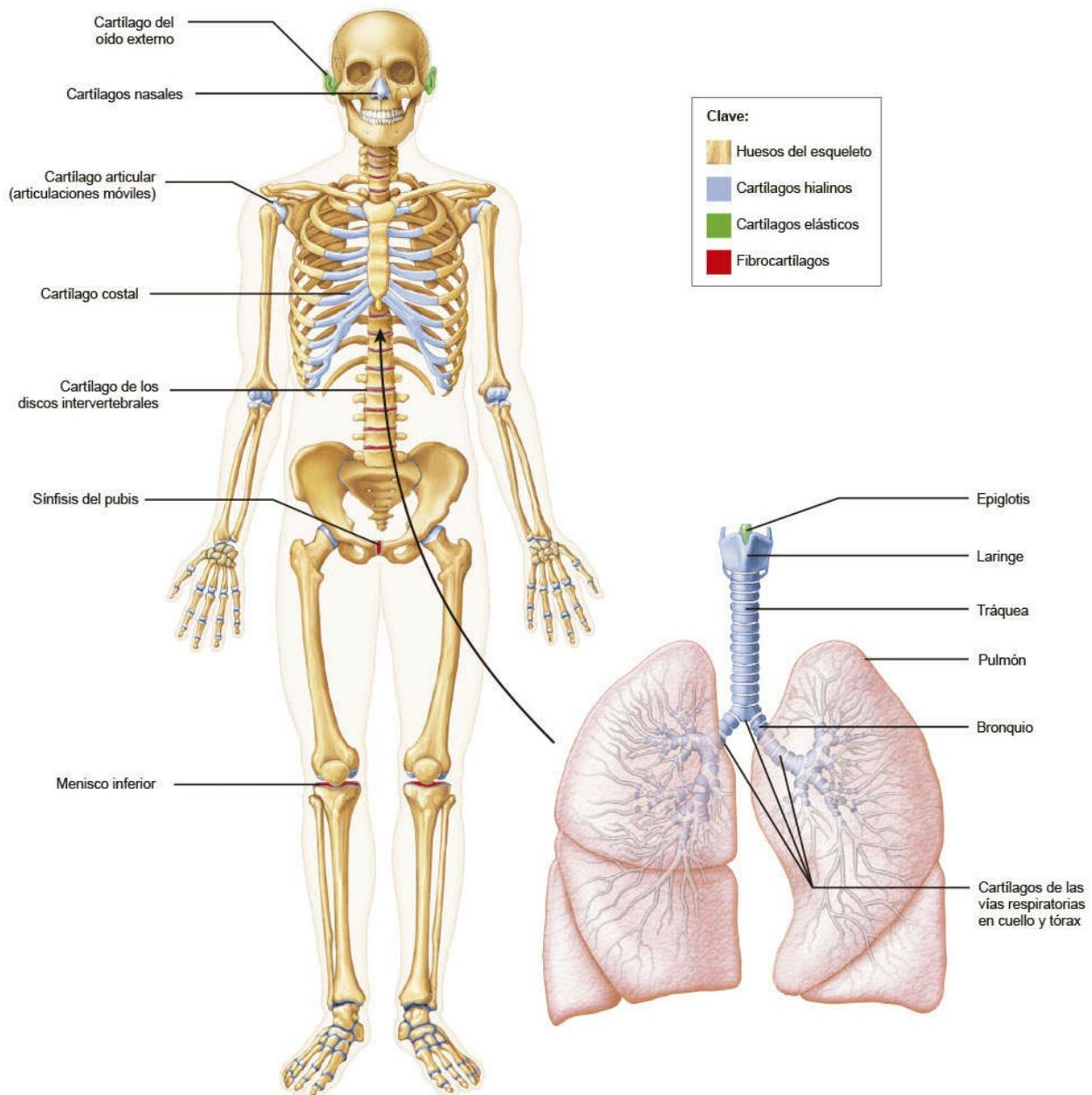


Figura 4-13. Sitios en que hay cartílago en el cuerpo humano. *Fuente:* Jenkins *et al.* (2007). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Hueso

Junto con el cartílago, los huesos constituyen el esqueleto. El hueso es similar al cartílago, pero contiene mayores cantidades de colágeno. Debido a ello el hueso es más duro y rígido, lo que facilita la protección y el soporte de las estructuras corporales. Sin embargo, a diferencia del cartílago, el hueso recibe un abundante suministro de sangre. También almacena grasa, y tiene una función importante en la producción de células sanguíneas. Los huesos se examinan con más detalle en el capítulo 5.

Tejido conjuntivo líquido

El tejido conjuntivo que tiene una matriz extracelular líquida es:

- Sangre.
- Linfa.

Se dice que la sangre y la linfa son tejidos conjuntivos atípicos porque, en sentido estricto, no conectan tejidos ni dan soporte mecánico. La matriz extracelular de la sangre es el plasma. Las células sanguíneas son los eritrocitos (glóbulos rojos), leucocitos (glóbulos blancos) y plaquetas. La sangre y el plasma realizan muchas funciones importantes. Véase una explicación detallada de la sangre en el capítulo 7. La linfa tiene una matriz extracelular transparente muy similar al plasma. La principal función de la linfa es proteger contra patógenos invasores; se le analiza más a fondo en el capítulo 16.

Membranas

Las membranas son láminas de tejido que cubren zonas del cuerpo. Desde el punto de vista estructural, las membranas consisten en una capa de tejido epitelial unida a una capa basal de tejido conjuntivo. Hay cuatro tipos principales de membranas:

- Cutáneas.
- Mucosas.
- Serosas.
- Sinoviales.

Membranas cutáneas

El principal ejemplo de membrana cutánea es la piel. Consta de una capa externa de tejido epitelial columnar estratificado, encima de una capa gruesa de tejido conjuntivo irregular denso. El capítulo 17 se dedica a las funciones y estructura de la piel.

Membranas mucosas

Las membranas mucosas recubren las superficies externas de las cavidades corporales. Son ejemplos de ello los órganos huecos del aparato digestivo, aparato respiratorio y aparato urinario. Todas las membranas mucosas son húmedas, pero no todas secretan moco lubricante. Por ejemplo, las membranas mucosas del sistema urinario son húmedas debido a la presencia de orina. La mayoría de las membranas mucosas contienen epitelio pavimentoso estratificado o cilíndrico simple soportado por una capa de tejido conjuntivo denominada **lámina propia**.

Membranas serosas

Las membranas serosas (o simplemente serosas) cubren las cavidades corporales internas. Consisten en tejido conjuntivo areolar cubierto por un tipo especial de epitelio pavimentoso simple que recibe el nombre de **mesotelio**. El mesotelio secreta una sustancia acuosa llamada líquido seroso, el cual permite que los órganos se deslicen unos sobre otros con facilidad. Las membranas serosas consisten en una capa externa o **parietal** y una capa interna o **visceral**. El ejemplo más grande es el peritoneo, que recubre los órganos de la cavidad abdominopélvica. El recubrimiento protector de los pulmones, la pleura parietal y visceral, es otro ejemplo de membrana serosa importante. La pleura parietal y la visceral se deslizan entre sí cuando el tórax se expande en la inspiración.

Membranas sinoviales

A diferencia de las membranas serosas, mucosas y cutáneas, las membranas sinoviales no contienen tejido epitelial. Se encuentran sobre todo en las

articulaciones móviles y constan de tejido conjuntivo areolar, adipocitos, y fibras elásticas y de colágeno. Secretan líquido sinovial, que irriga, nutre y lubrica las articulaciones. El líquido sinovial también contiene macrófagos, que destruyen microorganismos invasores y eliminan los desechos de la cavidad articular. También hay membranas sinoviales en los sacos acolchados de manos y pies, que facilitan el movimiento de los tendones (figura 4-14).

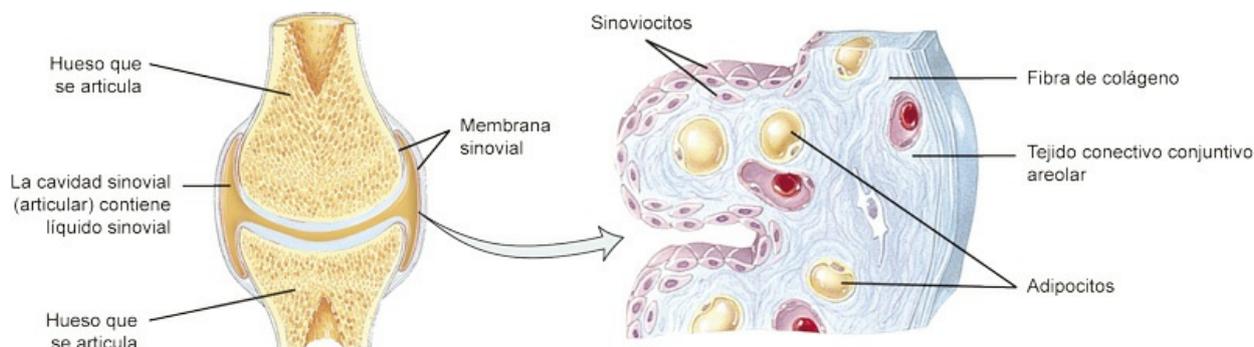


Figura 4-14. Las membranas sinoviales recubren cavidades articulares. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Consideraciones clínicas

Peritonitis

La peritonitis es la inflamación del peritoneo, la membrana serosa que recubre los órganos digestivos y la pared de la cavidad abdominopélvica. Las causas de la peritonitis son **químicas** o **bacterianas**. La peritonitis química se debe a un daño de las estructuras adyacentes; por ejemplo, una herida penetrante o una úlcera que dejan escapar jugos digestivos hacia el peritoneo. La peritonitis bacteriana se debe a la contaminación directa del peritoneo; es decir, un apéndice estallado o un intestino perforado. Si no se corrige, la peritonitis química ocasionará peritonitis bacteriana.

La peritonitis es una urgencia médica aguda y conlleva alta mortalidad. Las tasas de supervivencia han aumentado desde que se administran antibióticos profilácticos (Lawrence *et al.*, 2003; Gould, 2014).

Consideraciones clínicas

Neumotórax

Ocurre neumotórax o colapso de pulmón cuando se acumula aire en la cavidad pleural, el pequeño espacio entre la pleura visceral y la parietal. Más a menudo ocurre como resultado de traumatismos, pero también se presenta en caso de una enfermedad pulmonar crónica. En un pequeño número de casos la pleura se separa de manera espontánea por un defecto congénito. Si el neumotórax es pequeño, los pulmones vuelven a inflarse con el tiempo, pero si es grande pone en peligro la vida. A menudo se insertan drenes torácicos para extraer el aire de la pleura y permitir que los pulmones se inflen de nuevo (Ryan, 2005; Sullivan, 2008).

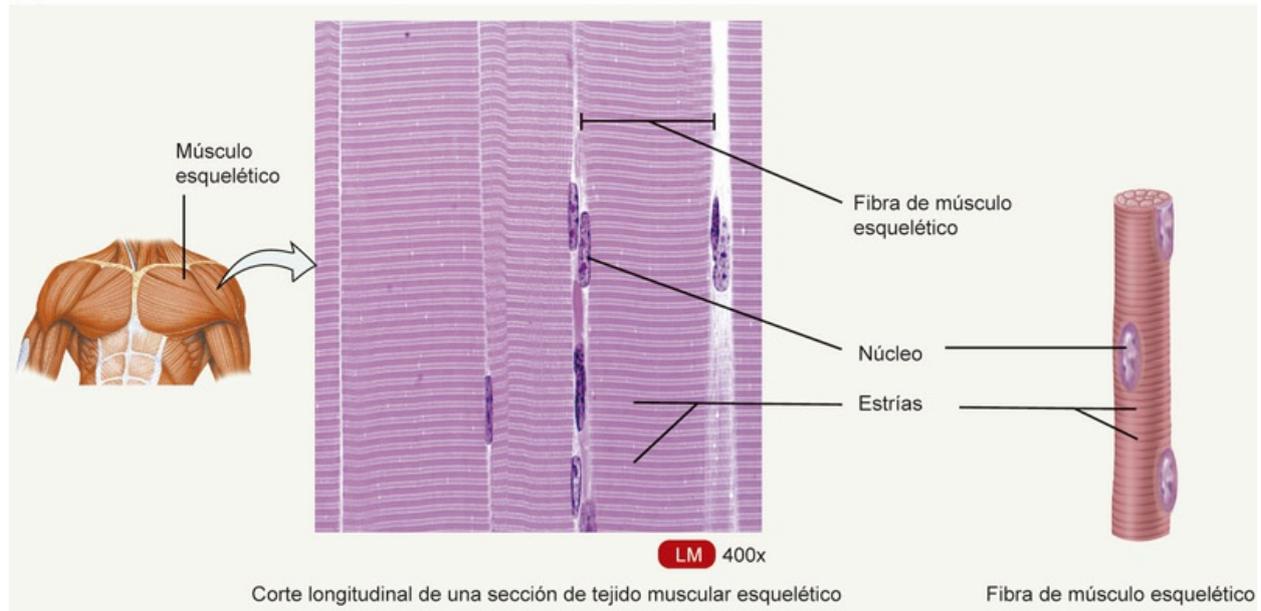
Tejido muscular

El tejido muscular contiene fibras musculares largas cuya principal función es generar fuerza. Se encuentra en sitios en que se requiere movimiento y mantenimiento de la postura. El músculo se clasifica en tres tipos:

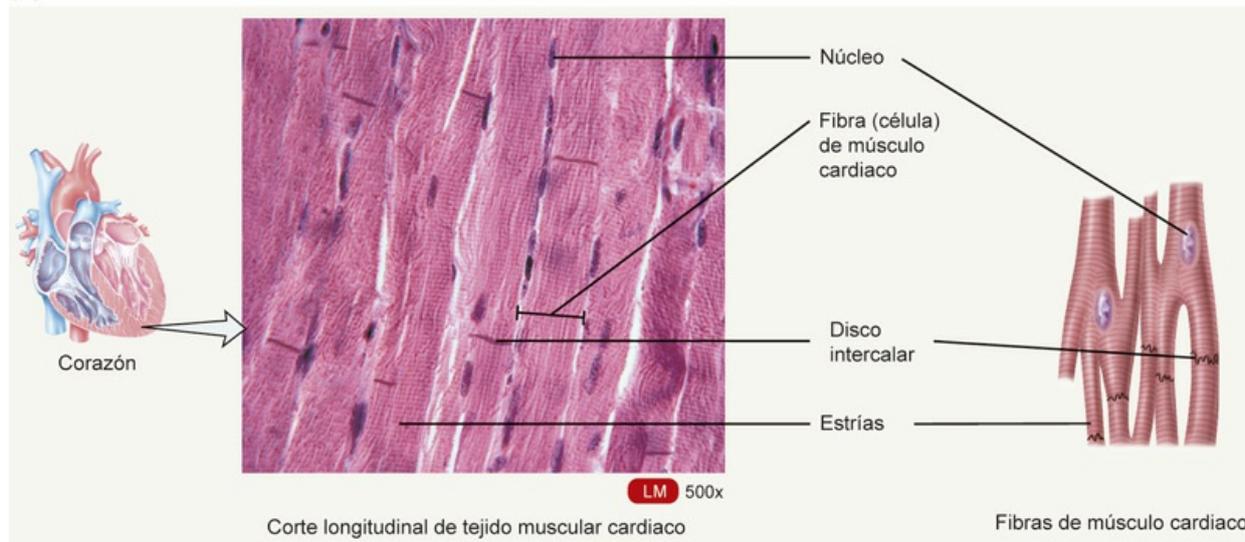
- Esquelético.
- Liso.
- Cardíaco.

El **músculo esquelético** (o músculo estriado) se sitúa adyacente al esqueleto y su función es doble: movimiento del esqueleto y mantenimiento de la postura corporal. La estructura de las fibras musculares dentro del músculo esquelético le da un aspecto **estriado**. El músculo esquelético es voluntario, lo cual significa que su movimiento puede ser controlado de manera consciente (figura 4-15).

(a)



(b)



(c)

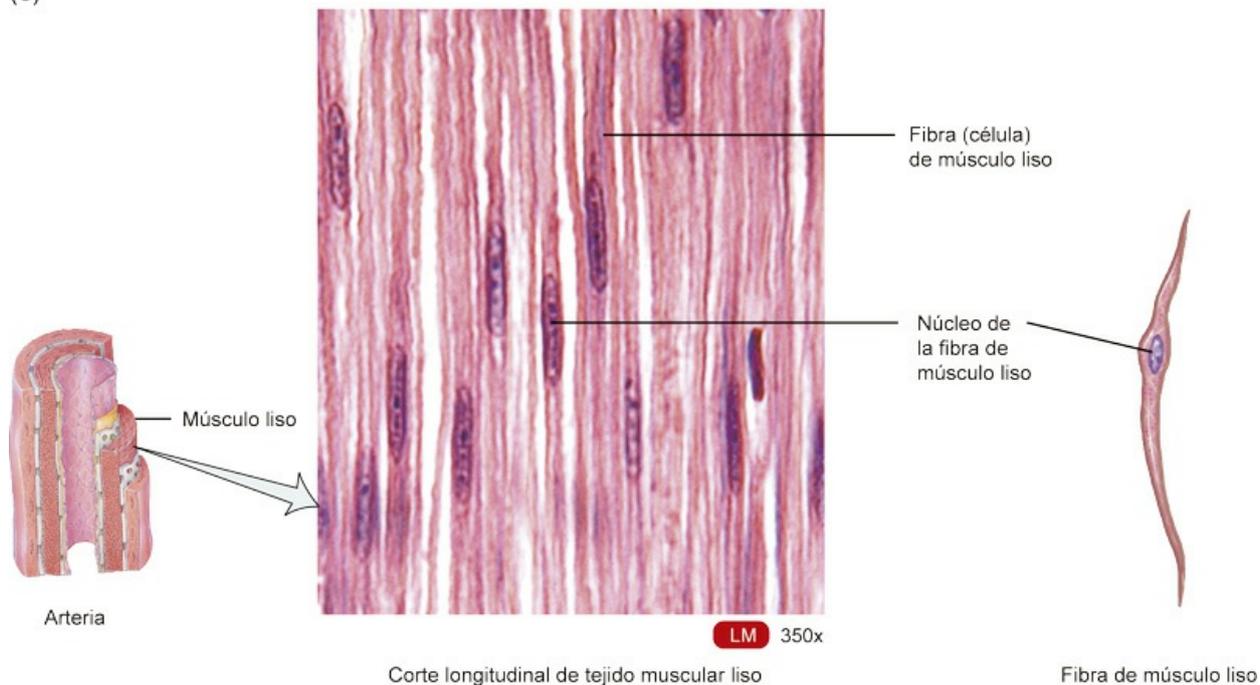


Figura 4-15. Principales tipos de músculo, con ejemplos de su localización: (a) músculo esquelético; (b) músculo cardiaco; (c) músculo liso. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Por otra parte, el **músculo liso** es involuntario y **no estriado**. Se encuentra en estructuras internas huecas en que deben impulsarse materiales líquidos o sólidos de un lugar a otro. Son ejemplos los vasos sanguíneos, que impulsan la sangre por el aparato vascular, y el tubo digestivo, donde el quimo es desplazado del estómago hacia los intestinos y de aquí al recto.

El **músculo cardiaco** es estriado e involuntario. Como su nombre indica, sólo se encuentra en el corazón, y genera la fuerza que impulsa la contracción. En el capítulo 6 se revisará el músculo con más detalle.

Tejido nervioso

El tejido nervioso se localiza en el sistema nervioso (capítulo 13). Hay dos tipos de células del tejido nervioso:

- Neuronas.
- Neuroglia.

Las **neuronas** son la unidad funcional del sistema nervioso. Constan de tres partes básicas: **cuerpo celular** (pericarion o soma), **axón** y **dendritas** (figura 4-16). Su principal función es la propagación de señales nerviosas en los sistemas nerviosos central y periférico.

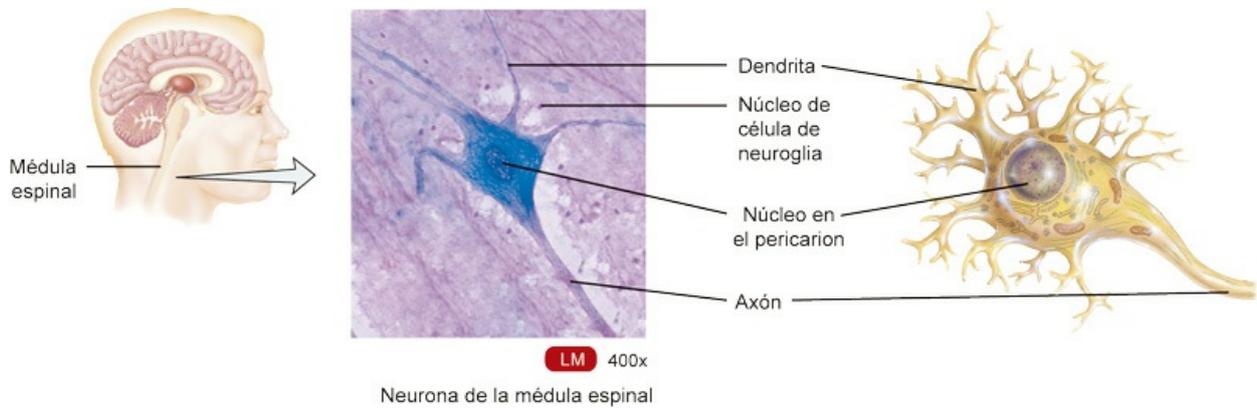


Figura 4-16. Ejemplo de tejido nervioso. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La **neuroglia** no propaga señales nerviosas; en cambio, nutre, protege y sostiene las neuronas.

Reparación tisular

La reparación tisular repone células dañadas, gastadas o muertas. Cada uno de los cuatro tipos de tejido tiene la capacidad de regenerar y reponer células lesionadas por traumatismo, enfermedad y otros procesos. Sin embargo, los diferentes tipos de tejido tienen distintas tasas de éxito. Dado que las células epiteliales deben soportar mucho desgaste y rupturas, tienen gran capacidad de renovación. El tejido epitelial a menudo contiene células inmaduras llamadas **células progenitoras**, que pueden dividirse y reponer con facilidad las que se pierden. La mayor parte del tejido conjuntivo también tiene gran capacidad de renovación; sin embargo, debido a la falta de un suministro sanguíneo, el cartílago puede tardar mucho en sanar.

En contraste, el músculo y el tejido nervioso tienen escasas propiedades de regeneración. Las fibras del músculo esquelético y el músculo liso se dividen en forma pausada, y no ocurre la mitosis en el tejido muscular cardíaco. Las células progenitoras migran de la sangre al corazón, donde se dividen y producen una pequeña cantidad de nuevas fibras de músculo cardíaco. En condiciones normales el tejido nervioso no experimenta mitosis para reponer las neuronas dañadas.

La reparación tisular implica la proliferación de nuevas células, que se producen por división celular en el parénquima (células de tejido/órgano) o a partir del estroma (tejido conjuntivo de soporte). La reposición de tejido por células del parénquima y del estroma se denomina **regeneración**. Si las células del parénquima son las únicas responsables de la reparación tisular, entonces la regeneración no es perfecta. Si en la reparación intervienen fibroblastos del estroma, se genera nuevo tejido conjuntivo para reponer el tejido dañado. Este nuevo tejido conjuntivo, sobre todo colágeno, se denomina **tejido cicatrizal**. El proceso de generación de tejido cicatrizal se conoce como **fibrosis**. A diferencia de las células regeneradas a partir de células del parénquima, las células del tejido cicatrizal no pueden realizar las funciones originales de las células dañadas. Así, cualquier órgano o estructura con tejido cicatrizal tendrá afectado su funcionamiento.

En heridas abiertas o grandes ocurre **granulación** o formación de tejido de granulación, que cubre el tejido que se repara y secreta líquido cargado de bacterias. Durante este proceso las células del parénquima y del estroma participan de manera activa en la reparación. Los fibroblastos aportan nuevo tejido de colágeno para fortalecer el sitio, y los capilares sanguíneos generan nuevas ramas y llevan los nutrientes necesarios a la zona.

Consideraciones clínicas

Pie diabético

Entre 12 y 25% de los diabéticos desarrollan úlceras en las piernas y pies. Esto se debe a que la diabetes puede causar micro y macroangiopatía, que obstruye el flujo sanguíneo en las arterias grandes. El flujo más lento de sangre por las arterias de la extremidad inferior

da como resultado el desarrollo de úlceras de piernas y pies. Los diabéticos también presentan tiempos prolongados de recuperación de sus lesiones en estas extremidades. La falta de riego sanguíneo reduce asimismo la capacidad del tejido de combatir la infección. Por ello, los pacientes diabéticos tienen mayor riesgo de sufrir gangrena y amputación (Cavanagh et al., 2005; Gould, 2014).

Conclusión

Todas las células humanas pueden clasificarse en cuatro clases: tejido epitelial, tejido conjuntivo, tejido muscular y tejido nervioso. El tejido epitelial cubre estructuras y órganos. Se especializa en la absorción, secreción, protección, excreción, filtración y recepción sensorial. Casi cada sustancia que entra y sale del cuerpo viaja por el tejido epitelial. El tejido conjuntivo no sólo conecta tejidos; también los protege, sostiene y aísla. Es denso y fuerte; son ejemplos de ello el cartílago y el hueso. El tejido muscular hace posible el movimiento y la postura, mientras que el tejido nervioso forma la mayor parte del sistema nervioso. Los tejidos tienen la capacidad de regenerarse y renovarse a sí mismos; sin embargo, los tejidos epitelial y conjuntivo son más capaces de repararse que el resto.

Glosario

Antibióticos profilácticos. Antibióticos prescritos para prevenir infecciones.

Avascular. Que no contiene vasos sanguíneos.

Bazo. Gran órgano linfático, responsable de la producción de linfocitos, la reacción inmunitaria y la limpieza de la sangre.

Cartílago. Forma resistente de tejido conjuntivo que contiene una densa red de fibras de colágeno y elásticas.

Cavidad abdominopélvica. Cavidad corporal que comprende las cavidades abdominal y pélvica. La cavidad abdominal contiene al estómago, intestinos, bazo, hígado y otros órganos digestivos relacionados. La cavidad pélvica contiene la vejiga y algunos órganos de la reproducción.

Difusión. Movimiento de partículas de zonas de alta concentración a otras de baja concentración.

Estroma. Armazón o estructura interna de un órgano.

Ganglios linfáticos. Pequeñas estructuras que filtran el líquido linfático.

Glándula. Estructura que genera sustancias necesarias para el organismo o de desecho (p. ej., hormonas, moco, sudor).

Glándulas endocrinas. Glándulas que liberan hormonas al interior del cuerpo.

Glándulas exocrinas. Glándulas que secretan sus productos al exterior (moco, sudor) en superficies de tejido epitelial.

Glucoproteínas. Proteínas especiales que contienen cadenas de azúcares simples. Tienen una importante función en la comunicación entre células.

Hormonas. Sustancias químicas reguladoras liberadas por las glándulas endocrinas para su uso en otra parte del cuerpo (p. ej., tiroxina, insulina).

Inervado (inervar). Estimulado por células nerviosas.

Líquido intersticial. Líquido que baña las células.

Macrófagos. Leucocitos que se especializan en la destrucción y eliminación de patógenos invasores.

Matriz extracelular. Conjunto de sustancias, en su mayoría inanimadas, que separan las células vivas del tejido conjuntivo.

Membrana. Lámina de tejido que recubre una región del cuerpo.

Mitosis. División y duplicación de células.

Neuroglia. Células del sistema nervioso que soporta y nutre las neuronas.

Neurona. Fibra nerviosa.

Ovocitos. Células reproductivas femeninas.

Parénquima. Células que constituyen la parte funcional de un órgano.

Queratina. Proteína fibrosa resistente especial presente en la piel.

Quimo. Sustancia fluida que consiste en el alimento parcialmente digerido en forma parcial y enzimas digestivas, que viaja por el tubo digestivo.

Subcutáneo. Situado abajo de la piel.

Superficie apical. Superficie de un órgano que da hacia fuera, hacia el exterior del órgano.

Superficie basal. Superficie que forma la base de un órgano.

Tejido conjuntivo. Tejido que une, refuerza, aísla, protege y sostiene estructuras.

Tejido epitelial. Tejido que recubre superficies corporales.

Vértebras. Huesos irregulares que constituyen la columna vertebral.

Bibliografía

- Cavanagh, P.R., Lipsky, B.A., Bradbury, A.W. and Botek, G. (2005) Treatment for diabetic foot ulcers. *Lancet* **366**: 1725–1735.
- Gould, B.E. (2014) *Pathophysiology for the Health Professions*, 5th edn. Philadelphia, PA: Saunders Elsevier.
- Jenkins, G.W., Kemnitz, C.P. and Tortora, G.J. (2007) *Anatomy and Physiology from Science to Life*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lawrence, K.R., Adra, M. and Schwaitzberg, S.D. (2003) An overview of the pathophysiology and treatment of secondary peritonitis. *Formulary* **38**:102–111.
- Marieb, E. and Hoehn, K. (2008) *Human Anatomy and Physiology*, 8th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Ryan, B. (2005) Pneumothorax assessment and diagnostic testing. *Journal of Cardiovascular Nursing* **20**(4): 251–253.
- Sullivan, B. (2008) Nursing management of patients with a chest drain. *British Journal of Nursing* **17**(6): 388–393.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: JohnWiley & Sons, Inc.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Cuál de los siguientes tejidos epiteliales tiene una sola capa de células de forma cúbica?
 - (a) Epitelio cilíndrico pseudoestratificado.
 - (b) Epitelio cilíndrico simple ciliado.
 - (c) Epitelio cúbico simple.
 - (d) Epitelio cúbico estratificado.
2. ¿Cuál de las siguientes no es una función del epitelio simple?
 - (a) Protección.
 - (b) Secreción.
 - (c) Absorción.
 - (d) Filtración.
3. ¿Cuál es la función principal del epitelio de transición?
 - (a) Absorción.
 - (b) Estiramiento.
 - (c) Secreción
 - (d) Protección.
4. ¿Cuáles fibras aseguran que el tejido conjuntivo sea fuerte y resistente?
 - (a) Fibras de colágeno.
 - (b) Fibras reticulares.
 - (c) Fibras elásticas.
 - (d) Fibras plasmáticas.
5. ¿Cuál de los siguientes tejidos conjuntivos almacena triglicéridos?
 - (a) Tejido areolar.
 - (b) Tejido adiposo.
 - (c) Tejido conjuntivo regular denso.
 - (d) Tejido reticular.
6. ¿Cuál de los siguientes enunciados es verdadero?
 - (a) El fibrocartilago se encuentra en el oído.
 - (b) El cartilago elástico es casi idéntico al fibrocartilago.
 - (c) El cartilago hialino es el más abundante en el cuerpo humano.
 - (d) El tejido cartilaginoso más débil es el fibrocartilago.
7. La sangre es un ejemplo de tejido conjuntivo _____.
 - (a) Líquido.
 - (b) Laxo.
 - (c) Avascular.
 - (d) Denso.
8. ¿Cuál de las siguientes zonas no contiene membranas mucosas?
 - (a) Vías urinarias.
 - (b) Aparato respiratorio.
 - (c) Pericardio.
 - (d) Tubo digestivo.
9. El músculo liso es:

- (a) Involuntario y estriado.
 - (b) Involuntario y no estriado.
 - (c) Voluntario y estriado.
 - (d) Voluntario y no estriado.
10. El tejido cicatrizal es generado por:
- (a) Fibroblastos.
 - (b) Osteoblastos.
 - (c) Células madre.
 - (d) Células del parénquima.

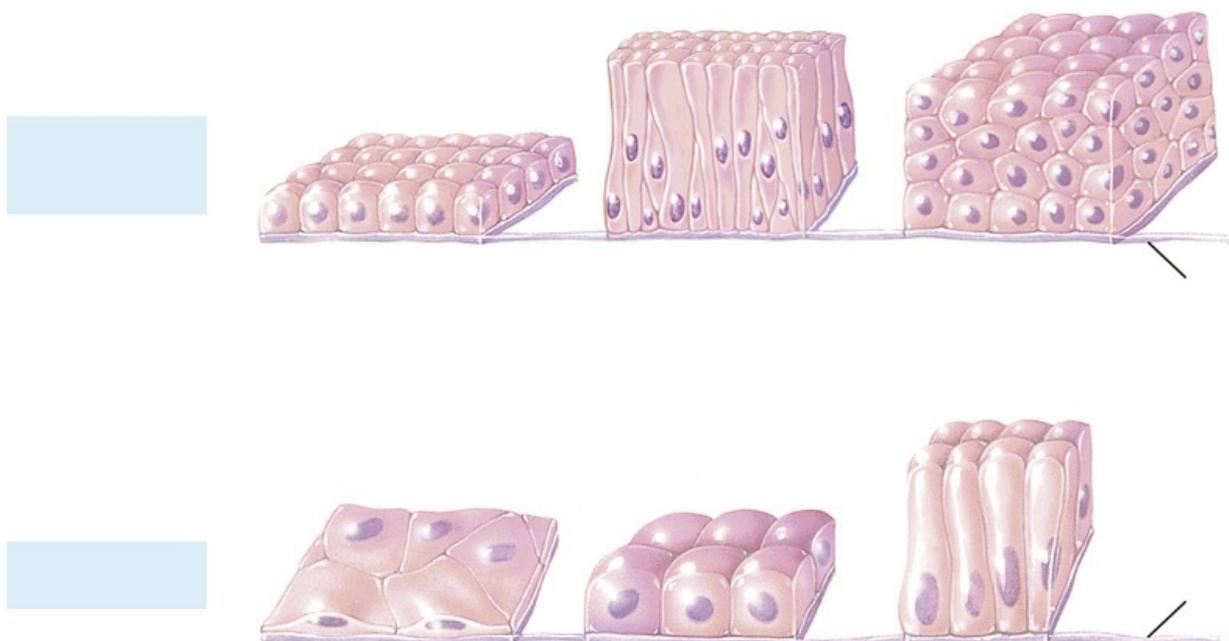
Falso o verdadero

1. Los epitelios simples consisten en una sola capa de células.
2. El tejido epitelial pavimentoso simple ofrece fuerte protección.
3. Las células cúbicas son planas y de aspecto escamoso.
4. El epitelio de transición puede tener células cúbicas y cilíndricas en su superficie apical.
5. Las glándulas están formadas por epitelio glandular.
6. El tejido conjuntivo es el tejido más abundante en el cuerpo humano.
7. Hay cinco tipos de tejido conjuntivo laxo.
8. El cartílago elástico es el cartílago más común en el cuerpo humano.
9. La piel es un buen ejemplo de membrana cutánea.
10. El músculo esquelético es tanto estriado como voluntario.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

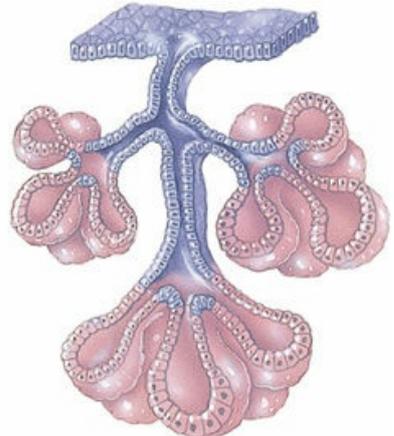
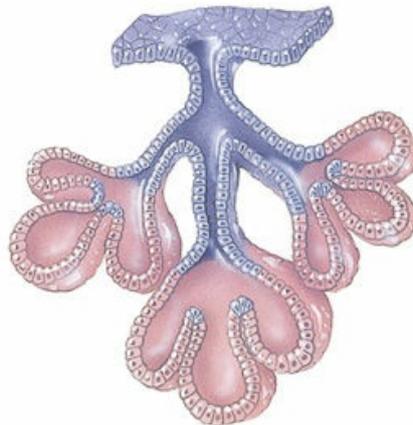
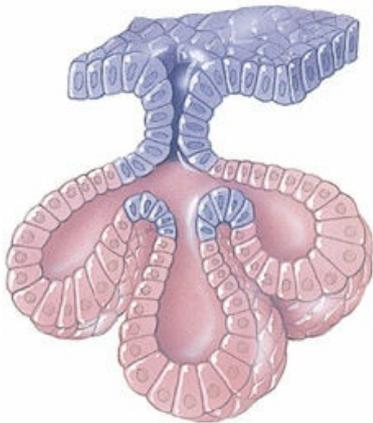
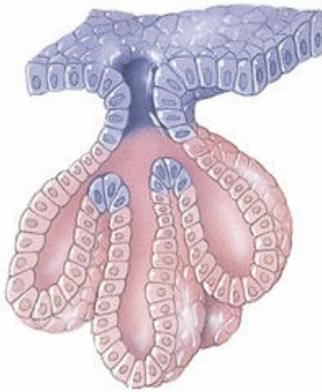
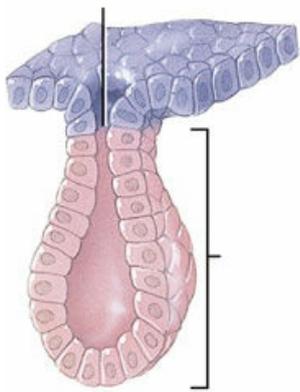
Disposición de capas, Simple, Seudoestratificado, Estratificado, Membrana basal, Forma celular, Pavimentoso, Cúbico, Cilíndrico, Membrana basal



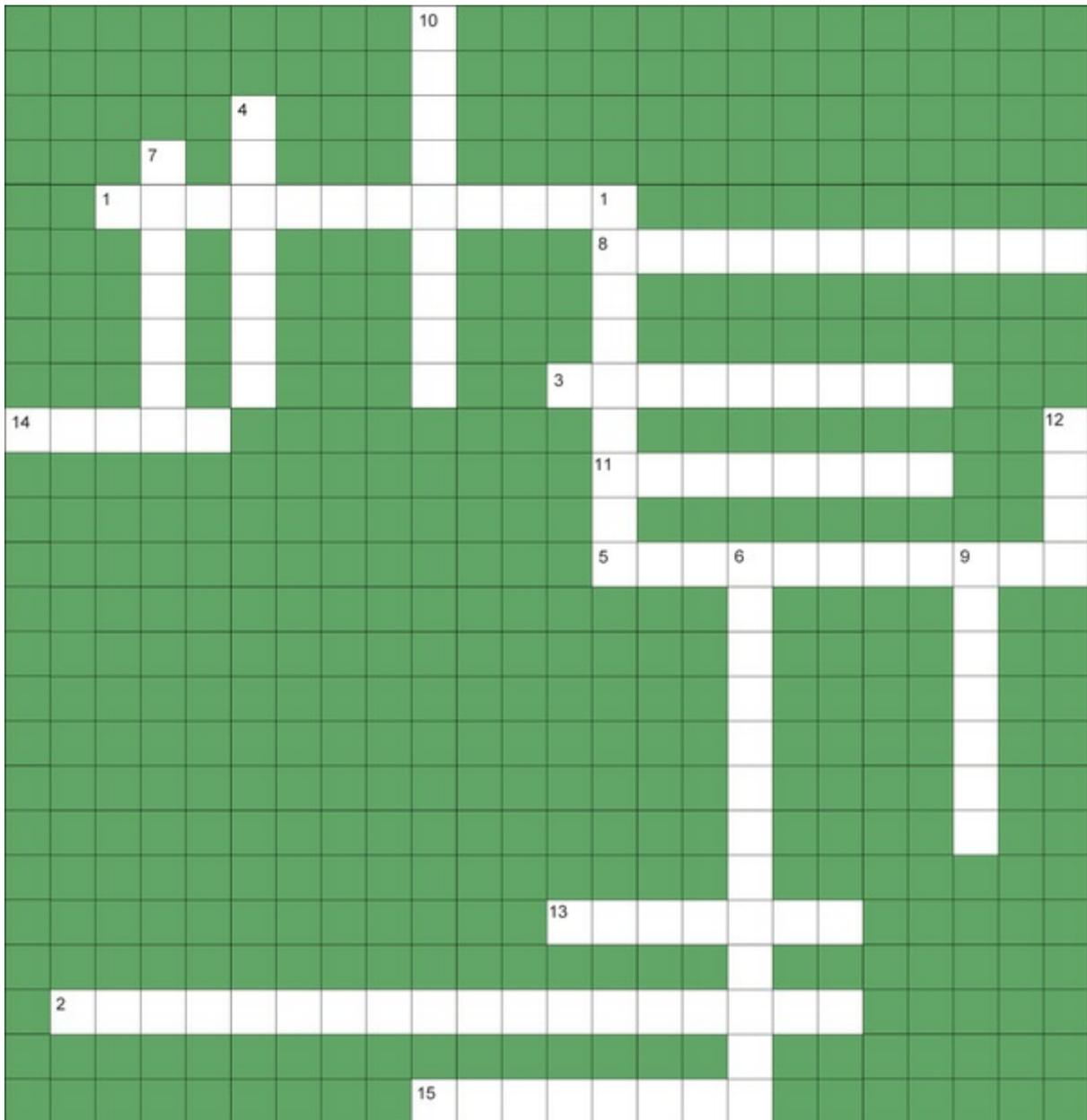
Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Conducto, Porción secretoria, Tubular simple, Tubular ramificada simple, Tubular compuesta, Acinar ramificada simple, Acinar compuesta, Tubuloacinar compuesta



Crucigrama



Horizontales:

1. Tejido epitelial que consiste en una sola capa de células cúbicas (6, 6).
3. Tipo de tejido conjuntivo laxo (9).
5. Células óseas (12).
8. Es una parte sustancial de la matriz extracelular (9, 5).
11. Tipo de tejido conjuntivo denso (8).
13. Tipo más abundante de cartílago (7).
14. El tejido conjuntivo _____ puede ser regular o irregular (5).
15. Constituyente principal del hueso (8).

Verticales:

1. Tipo de músculo (11).
2. Tejido epitelial de una sola capa que contiene células con diferentes formas (18).

4. Tejido graso (7).
6. Tejido epitelial de múltiples capas (13).
7. Las membranas _____ tienen superficie húmeda (7).
9. Las membranas _____ cubren órganos situados dentro de una cavidad (7).
10. Tipo de tejido conjuntivo avascular (9).
12. El areolar es un ejemplo de tejido conjuntivo _____ (4).

Búsqueda de palabras

Encuentre en la siguiente retícula las palabras que se enumeran al final.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | C | N | Q | C | E | E | R | G | N | A | S | T | O | Y |
| P | O | N | O | I | A | D | I | P | O | S | O | L | U | H |
| L | N | O | L | K | J | R | H | G | F | D | U | S | U | E |
| M | J | I | N | L | B | V | T | C | X | C | Z | E | A | L |
| Q | U | C | W | E | A | R | T | I | S | Y | S | U | I | A |
| R | N | R | J | K | L | G | O | U | L | O | O | M | A | S |
| A | T | O | H | G | F | N | M | D | S | A | U | A | N | T |
| L | I | S | B | V | I | C | S | N | X | O | G | Z | A | I |
| U | V | B | N | L | M | A | O | Q | I | Q | W | O | R | C |
| D | O | A | A | I | R | O | U | L | U | Y | T | R | B | O |
| N | O | I | P | B | S | L | E | K | A | A | H | G | M | F |
| A | H | B | I | O | V | T | C | X | Z | G | M | S | E | D |
| L | N | F | R | M | I | Q | W | E | R | T | E | O | M | U |
| G | L | E | P | P | A | R | E | O | L | A | R | N | U | I |
| J | S | H | E | G | L | A | O | C | I | B | U | C | O | S |

Absorción, Epitelio, Cúbico, Glandular, Conjuntivo, Cartílago, Hueso, Sangre, Colágeno, Fibras, Elástico, Areolar, Adiposo, Hialino, Membrana, Seroso, Músculo

Llene los espacios

Usando palabras de la lista al final, llene los espacios en blanco:

El tejido muscular contiene fibras musculares _____ cuya función principal es generar _____. Se encuentra en sitios en que se requieren _____ y _____. El músculo _____ se encuentra adyacente al esqueleto y se le llama _____ por su aspecto, y _____ por su acción. El músculo _____, por otra parte, es _____ y _____. Como su nombre indica, el músculo _____ sólo se encuentra en el corazón y aporta

la fuerza impulsora para la _____.

liso, voluntario, movimiento, esquelético, contracción, largo, estriado, fuerza, involuntario, cardiaco, mantenimiento de la postura, no estriado

Para profundizar

1. Una función del tejido epitelial es la percepción sensorial; comente qué significa este término.
2. ¿Qué entiende por *cilios* y cuál es su cometido en la depuración de las vías respiratorias?
3. El epitelio cúbico simple se encuentra en los ovarios y túbulos renales. ¿Cuál es su función ahí?
4. El epitelio cúbico estratificado se halla en el esófago y glándulas sudoríparas. ¿Cuál es su función ahí?
5. Comente las diferencias entre las glándulas endocrinas y las exocrinas.
6. Investigue la función del tejido adiposo y anote su uso como depósito de energía.
7. Describa la atención médica y de enfermería de pacientes con lesiones de cartílagos.
8. ¿Cuáles serían las intervenciones de enfermería claves en la atención de un paciente sometido a transfusión de sangre?
9. Analice la función de la enfermera y el equipo de salud en la atención de un paciente con peritonitis.
10. ¿Cuál es la función de la enfermera y otros profesionales de la salud en la prevención de infecciones de heridas?



Capítulo 5

Sistema esquelético

Ian Peate

Ponga a prueba sus conocimientos previos

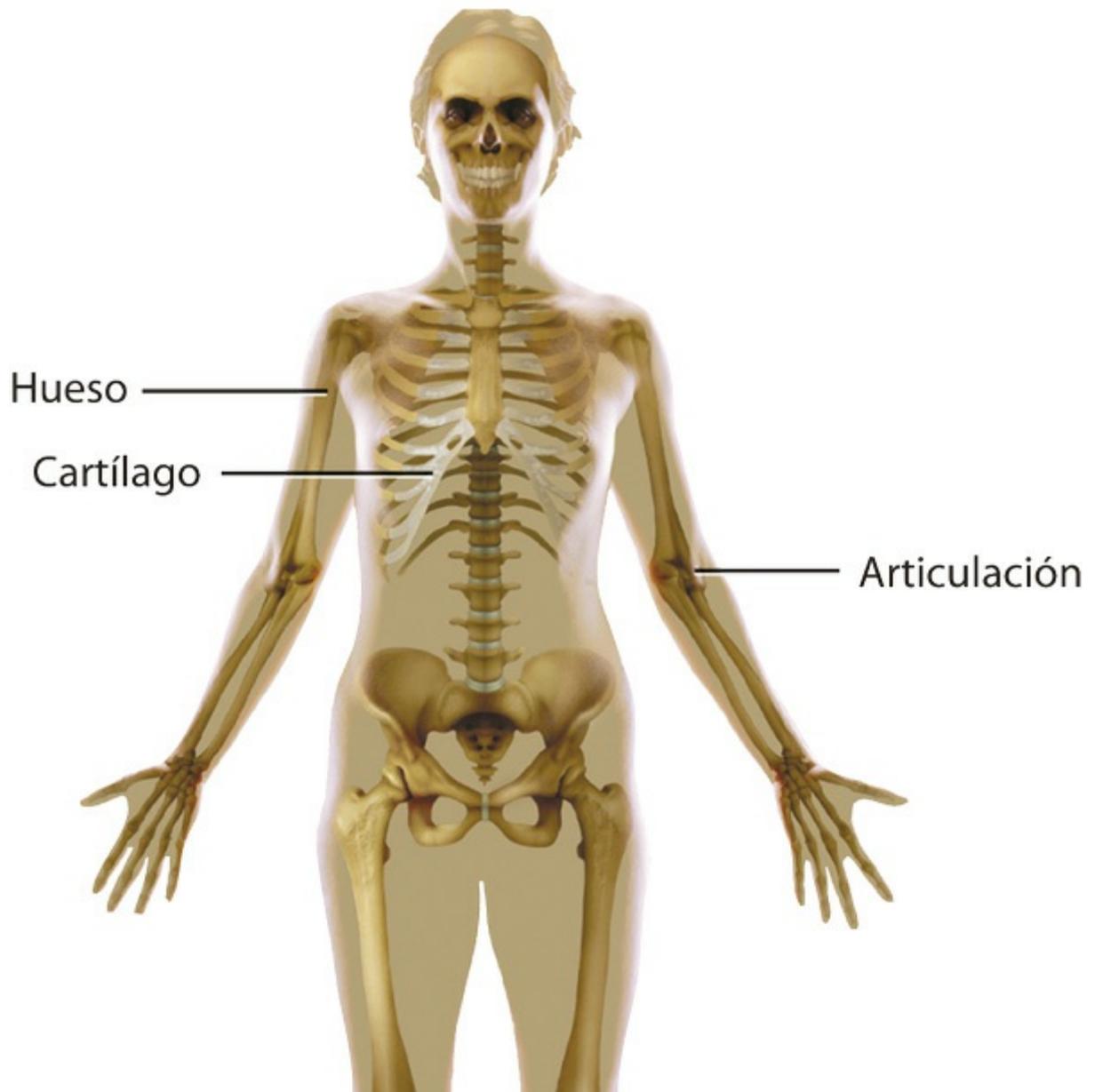
- ¿Por qué el calcio es un mineral importante en lo que se refiere al hueso?
- ¿Qué entiende usted por esqueleto?
- ¿Cuáles son las funciones del esqueleto?
- ¿Por qué los bebés tienen más huesos que los adultos?
- ¿Qué hace tan fuertes a los huesos?
- ¿En qué difiere el hueso esponjoso del compacto?
- Compare los esqueletos apendicular y axial.
- ¿Cuáles son las regiones de la columna vertebral?
- ¿Cuántos huesos constituyen el cráneo?
- ¿Qué es el líquido sinovial y dónde se encuentra?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Comentar la función del esqueleto
- Describir las divisiones del esqueleto
- Enumerar las cuatro categorías generales de los huesos
- Comentar la composición del hueso
- Describir las diversas articulaciones
- Comprender la organización del hueso con base en su forma

Mapa del cuerpo



Introducción

Aunque parece ser un material macizo, seco e inerte, el hueso es de hecho un organismo vivo complejo que se recrea de manera constante; desde el punto de vista metabólico es muy activo. A medida que el hueso antiguo muere, se forma hueso nuevo. Se realizan varias actividades complejas en el proceso de destrucción y reconstrucción del hueso. Por ello los huesos son órganos vivos formados por varios tejidos distintos, incluido el tejido óseo.

El esqueleto humano, en contraste con el de otras especies, está construido para desplazarse erecto, en vez de caminar en cuatro patas. El esqueleto nos da forma y la capacidad de caminar, pero no lo hace por sí solo. Requiere de muchos otros aparatos y sistemas del cuerpo para funcionar de manera correcta; así, el sistema nervioso y los músculos ayudan al cuerpo a moverse de las diversas y complejas maneras en que lo hace (por ejemplo, la columna vertebral nos permite flexionar y rotar el cuerpo); esto se atribuye a las articulaciones y su capacidad de articular.

Como una casa, el cuerpo humano necesita una estructura, pero la armazón del cuerpo no es de madera, acero o concreto como la de una casa. El esqueleto está constituido de huesos, ligamentos y tendones; está bien dotado para enfrentar la dureza de la vida. Es una obra maestra de ingeniería; para su peso, el hueso es casi tan fuerte como el acero.

El esqueleto produce glóbulos sanguíneos. Los huesos también actúan como zonas de almacenamiento de minerales, que son vitales para la coagulación sanguínea, funcionamiento de los nervios y contracción de los músculos. Los huesos comienzan a formarse *in utero* y continúan creciendo en la vida adulta. Los huesos se desarrollan a partir de cartílago, de modo que los bebés nacen con grandes cantidades de cartílago y también tienen más huesos que los adultos. A medida que el niño crece, algunos huesos se fusionan entre sí y la persona queda con el número normal de huesos del adulto. Los huesos de los bebés son blandos, pero se endurecen conforme se depositan más minerales en el proceso conocido como osificación.

Esqueletos axial y apendicular

Hay 206 huesos con nombre en el esqueleto humano adulto. Con fines de clasificación, el esqueleto se divide en dos partes: esqueleto axial y esqueleto apendicular. Ambos tienen sus propias funciones.

Esqueleto axial

El esqueleto axial (axis=eje) forma el eje central del cuerpo y consiste de 80 huesos. Esta parte del esqueleto sostiene la cabeza (incluidos los huesecillos del oído), el cuello y el torso (también llamado tronco). Incluye al cráneo, columna vertebral, costillas y esternón. Los 80 huesos del esqueleto axial se enumeran en el cuadro 5-1.

Cuadro 5-1. Huesos del esqueleto axial

| Estructura | Número de huesos |
|---|------------------|
| Cabeza | |
| Cráneo | 8 |
| Cara | 14 |
| Total | 22 |
| Hioides | 1 |
| Huesecillos auditivos | 6 |
| Columna vertebral | 26 |
| Tórax | |
| Esternón | 1 |
| Costillas | 24 |
| Total | 25 |
| Número total de huesos en el esqueleto axial | 80 |

Esqueleto apendicular

Los huesos del esqueleto apendicular son los de las extremidades superior e inferior: los de brazos y piernas así como las cinturas escapular y pélvica que son los huesos que los conectan con el esqueleto axial. Hay 126 huesos en el esqueleto apendicular, y se enumeran en el cuadro 5-2.

Cuadro 5-2. Huesos del esqueleto apendicular

| Estructura | Número de huesos |
|-------------------|------------------|
| Cintura escapular | |
| Clavícula | 2 |
| Omóplato | 2 |

| | |
|---|------------|
| Total | 4 |
| Miembro superior | |
| Húmero | 2 |
| Cúbito | 2 |
| Radio | 2 |
| Carpianos | 16 |
| Metacarpianos | 10 |
| Falanges | 28 |
| Total | 60 |
| Cintura pélvica | |
| Huesos pélvicos | 2 |
| Extremidad inferior | |
| Fémur | 2 |
| Rótula | 2 |
| Peroné | 2 |
| Tibia | 2 |
| Tarsianos | 14 |
| Metatarsianos | 10 |
| Falanges | 28 |
| Total | 60 |
| Número total de huesos en el esqueleto apendicular | 126 |
| Número total de huesos en el esqueleto humano adulto | 206 |

Instantánea

Gamagrafía de hueso

Las gammagrafías (imágenes por radionúclidos) pueden detectar anomalías como fracturas, infecciones óseas, artritis, raquitismo y tumores que se han metastatizado, así como otros trastornos.

Para tomar una gammagrafía ósea se inyecta por vía intravenosa en una vena periférica una muy pequeña cantidad de material radiactivo (radiomarcador). La sustancia viaja por el torrente sanguíneo hasta los huesos y otros órganos. Al desintegrarse, emite una pequeña cantidad de radiación gamma que se detecta con una cámara especial (cámara gamma) que barre en forma lenta el cuerpo. Cuando el marcador se deposita en el órgano específico se barre la zona.

Para evaluar en busca de enfermedad metastásica ósea, se toman imágenes con una demora de 3 a 4 h. La etapa de barrido de la prueba dura alrededor de 1 hora. La cámara se desplaza arriba y alrededor de la persona, y puede ser necesario colocar a ésta en distintas posiciones.

Antes de la prueba se indica a la persona que se quite la joyería y otros objetos metálicos, y que se ponga una bata de hospital. Las pacientes deben informar al médico o radiólogo si están embarazadas. La persona debe evitar cualquier medicamento con bismuto los cuatro días previos a la prueba.

Véase en la figura 5-1 una representación del esqueleto humano.

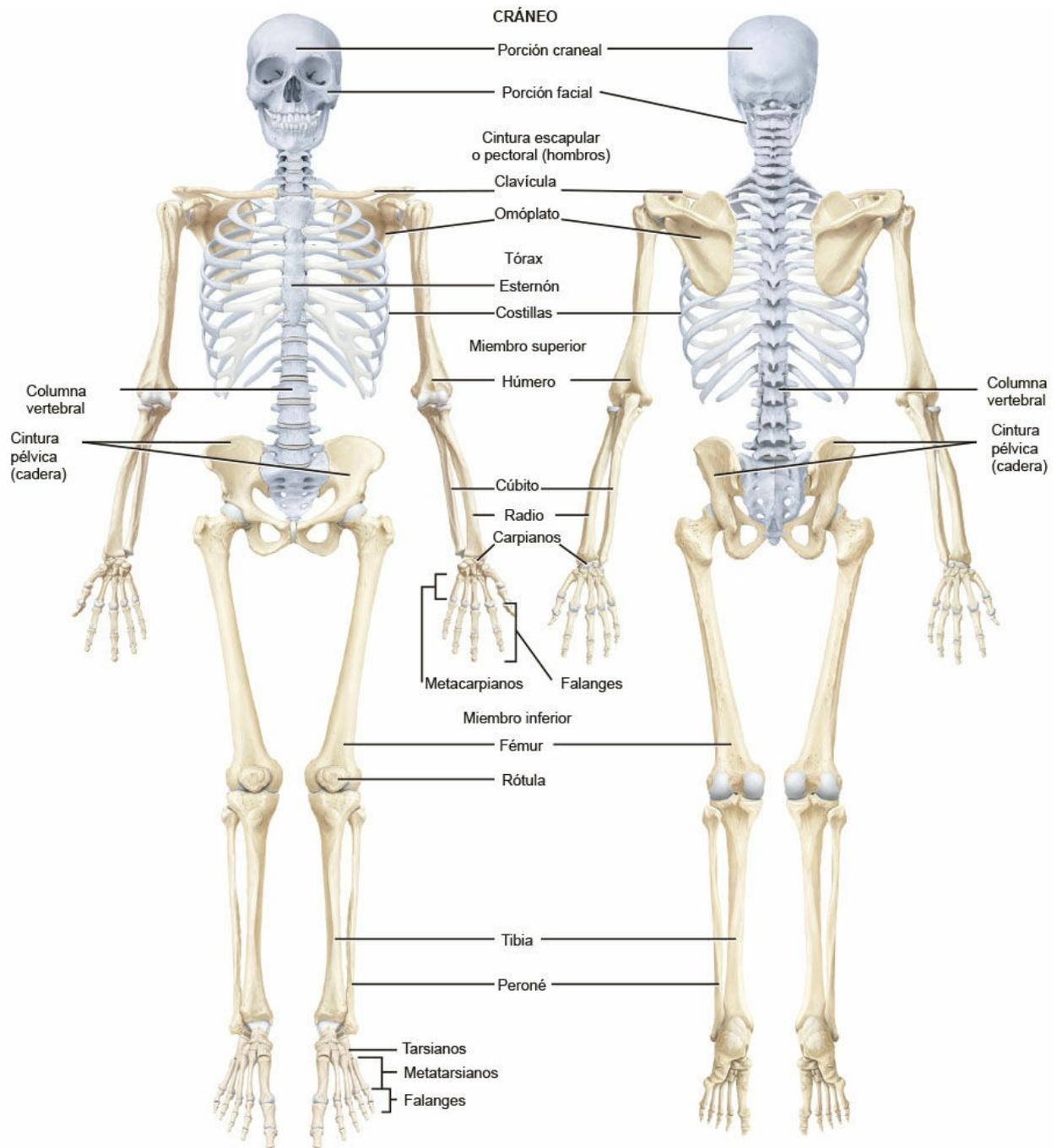


Figura 5-1. Esqueleto humano (a) vista anterior, (b) vista posterior. Esqueleto axial en azul y esqueleto apendicular en blanco. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El hueso y sus funciones

El esqueleto –que incluye huesos, ligamentos, cartílago y tejidos conjuntivos que dan estabilidad o fijación a los huesos– tiene varias funciones clave:

1. Da soporte.
2. Hace posible el movimiento.
3. Almacena minerales y lípidos.
4. Protege al cuerpo.
5. Produce glóbulos rojos.

Soporte

Excepto por hueso y cartílago, todo el tejido corporal es blando, y sin el esqueleto el cuerpo tendría la consistencia de gelatina y no podría mantenerse en pie. El modo en que los huesos están dispuestos da al cuerpo su forma. El esqueleto da soporte estructural al cuerpo al constituir una armazón ósea para la fijación de tejidos blandos y órganos.

Movimiento

El esqueleto permite el movimiento y participa en él. Los huesos actúan como palancas, que realizan la transmisión de fuerzas musculares. Varios huesos pueden, mediante la acción de palancas al contraerse y ejercer tracción, cambiar la magnitud y el sentido de las fuerzas generadas por los músculos esqueléticos, a través del trabajo de los tendones y ligamentos. Estos movimientos pueden ser muy intrincados, como los de escribir, enhebrar una aguja (con coordinación de movimientos finos), o masivos, como el de cambiar de postura corporal. El esqueleto, al interactuar con los músculos, permite la respiración. El movimiento se hace posible gracias a las articulaciones.

Consideraciones clínicas

Gota

Es una enfermedad inflamatoria aguda de las articulaciones, una artritis, que provoca un estado inflamatorio agudo y daño tisular. Es muy dolorosa.

La gota es un trastorno del metabolismo en el que se acumula ácido úrico o urato en la sangre y los tejidos; cuando se precipitan sales de urato supersaturadas forman cristales con forma de agujas en las articulaciones periféricas, con temperaturas más bajas, como la articulación metatarsofalángica del dedo gordo (1er dedo) del pie.

El trastorno puede clasificarse como gota primaria o secundaria, según la causa de la hiperuricemia, que ocurre sobre todo en varones de 30 a 60 años y se presenta como accesos agudos. A menudo se relaciona con artrosis en personas mayores.

La gota afecta la extremidad superior y la inferior, y puede presentarse con depósitos dolorosos llamados tofos (a veces hay secreción) en los nódulos de Heberden y de Bouchard.

La mayoría de las personas (alrededor del 90%) con gota presentan exceso de urato

como consecuencia de la incapacidad de excretar cantidades adecuadas de ácido úrico en la orina.

La sobreproducción de ácido úrico ocurre en trastornos que causan un elevado recambio celular, lo que libera purinas. La muerte celular por quimioterapia puede elevar los valores de ácido úrico, al igual que el ejercicio excesivo y la obesidad. Entre las causas de gota secundaria por excreción deficiente de ácido úrico se incluyen la insuficiencia renal, inanición o deshidratación, algunos fármacos y el consumo crónico de alcohol (cerveza y bebidas espirituosas).

Existen varias comorbilidades relacionadas con una mayor incidencia de gota, por ejemplo, la hipertensión arterial, diabetes mellitus, insuficiencia renal, hipertrigliceridemia, hipercolesterolemia, obesidad y anemia. Los alimentos ricos en purinas (anchoas, sardinas, pan dulce, riñón, hígado y extractos de carne) y los alimentos y bebidas ricos en fructosa se relacionan con un aumento en el riesgo de desarrollar gota.

Almacenamiento

Los huesos almacenan minerales esenciales como el calcio, magnesio y fósforo; el calcio es el mineral más abundante en el cuerpo humano. El hueso tiene además la capacidad de liberar minerales almacenados en respuesta a las demandas del organismo; por ejemplo, cuando la cantidad de calcio en la sangre es alta (elevada concentración), ese calcio puede depositarse en los huesos. Cuando es baja o decrece, los huesos liberan calcio en el torrente sanguíneo. Esta capacidad de contribuir a la homeostasis interna es regulada por hormonas. Asimismo, se almacenan lípidos en la médula ósea amarilla de algunos huesos; esos lípidos se almacenan o liberan según las necesidades del organismo de una fuente de energía.

Protección

El hueso, como estructura rígida, protege a la mayoría de los tejidos blandos y a los órganos internos del cuerpo; por ejemplo, el cráneo protege al encéfalo; el esternón y las costillas protegen a los pulmones y el corazón; la médula espinal es protegida por las vértebras; las órbitas protegen a los ojos y el periostio protege a la médula ósea roja. La pelvis rodea y protege los delicados órganos digestivos y reproductivos abdominales internos.

Caso clínico

Fractura patológica de edad: Ana Silvestre

Ana es una mujer de 72 años a quien se le diagnosticó osteoporosis ocho años de evolución; ha permanecido en buena condición física y saludable desde entonces, y no tiene ningún otro problema médico de importancia. Hace poco estaba jugando a los bolos con un grupo de amigos cuando se incorporó desde una postura agachada y sufrió de repente un dolor insufrible en la cadera izquierda, y fue incapaz de sostener peso. Se llamó a un paramédico, quien observó acortamiento de la pierna izquierda y rotación externa de la cadera. En ese momento se supuso que Ana había sufrido una fractura intertrocantérica de cadera izquierda; se le llevó al hospital.

Ocurre una fractura patológica cuando un hueso se rompe en una zona que está debilitada por otro proceso anómalo (en el caso de Ana, éste fue por osteoporosis). Entre las causas de debilitamiento del hueso se incluyen tumores, infección y algunos trastornos óseos hereditarios. Hay muchas enfermedades y situaciones que pueden ocasionar fractura patológica.

Una fractura patológica suele ocurrir cuando la persona realiza una actividad normal (Ana jugaba a los bolos); a veces se hacen actividades habituales cuando el hueso se fractura de manera repentina. La razón de ello es que la enfermedad subyacente debilita el hueso hasta el punto en que éste es incapaz de realizar sus funciones normales.

En el caso de Ana, es necesario considerar tanto la fractura como el proceso subyacente para que el tratamiento sea seguro y eficaz. La fractura de Ana requirió el mismo tratamiento que una fractura normal. La osteoporosis subyacente también se reevaluó, y se estableció un plan terapéutico.

Producción

Muchos huesos del cuerpo producen eritrocitos y leucocitos; esto se denomina hematopoyesis. La hematopoyesis ocurre sobre todo en la médula ósea roja, que llena la cavidad interna de la mayoría de los huesos; en algunos también se encuentra médula ósea amarilla, pero ésta consta principalmente de grasa.

Consideraciones clínicas

Médula ósea roja

Comprender la función de la médula ósea puede ayudar a la enfermera y al estudiante de ciencias de la salud a atender a pacientes que padezcan algún trastorno que afecte la médula ósea o su producción.

La médula ósea es una materia esponjosa que llena los huesos. Puede ser de dos tipos: amarilla y roja. La médula ósea roja contiene las llamadas células madre, que son glóbulos sanguíneos incipientes. En una persona sana estos glóbulos crecen y se dividen, y son la base para la formación de otros nuevos. La médula ósea roja es la única presente en determinados huesos, por ejemplo pelvis, esternón, y los extremos de los huesos de piernas y brazos.

Algunas células cancerígenas actúan en la médula ósea desacelerando la producción de glóbulos sanguíneos al destruirlos cuando crecen y se dividen. Por lo tanto, algunos fármacos contra el cáncer –quimioterapia (y algunas terapias biológicas)– tienen el potencial de curar, pero también de dañar.

Por ejemplo, cuando se destruyen leucocitos (las células principalmente responsables de combatir las infecciones), ello implica que la persona puede estar en riesgo de sufrir una infección. Cuando se destruyen eritrocitos (las células que tienen como función principal el transporte de oxígeno por todo el cuerpo), la persona puede experimentar anemia. Las plaquetas, las células responsables de la coagulación sanguínea, también se forman en la médula ósea roja. Un trastorno en la producción de plaquetas también puede afectar la salud y el bienestar del paciente. Éste puede tener propensión a las equimosis, sangrar más de lo habitual, incluso por pequeñas cortaduras, por ejemplo, al afeitarse–, y experimentar sangrado nasal (epistaxis).

Cuando se atiende a una persona que tiene problemas de médula ósea, por ejemplo, cáncer, “la enfermera y el estudiante de ciencias de la salud deben tener presente las

consideraciones expuestas antes a fin de proporcionar cuidados seguros y eficaces.

Formación y crecimiento del hueso (osteogénesis y osificación)

La fortaleza del hueso proviene de la matriz proteínica, que le da resistencia y elasticidad. Esto permite al hueso ceder un poco cuando se le aplica presión. En el hueso hay varios minerales que se han depositado ahí y que contribuyen a su resistencia, lo protegen y soportan cuando se le aplican presión y fuerza. Es importante comprender cómo se desarrolla el hueso, ya que esto ayuda a entender sus puntos fuertes y sus límites.

Hacia el final del tercer mes de embarazo el esqueleto del feto está completamente formado (Rizzo, 2006). En esta etapa, la mayor parte del esqueleto es en esencia cartílago; la formación del hueso ocurre a lo largo del desarrollo fetal y se denomina resistencia. Se presenta en diversas etapas de la vida de la persona. Tortora y Derrickson (2012) analizan cuatro situaciones principales en la vida de una persona en que esto se realiza (Cuadro 5-3).

Cuadro 5-3. Formación de hueso durante la vida de una persona

| Etapa | Actividad |
|-------|---|
| 1 | Formación inicial de hueso in utero en el feto |
| 2 | Crecimiento de los huesos durante la lactancia, niñez y adolescencia |
| 3 | Remplazo de hueso envejecido por hueso nuevo (remodelación ósea); ocurre durante toda la vida del individuo |
| 4 | Reparación de fracturas que pueden ocurrir durante la vida de la persona |

Fuente: Adaptado de Tortora y Derrickson (2013). Reproducido con permiso de John Wiley & Sons.

Formación embrionaria

Conforme el producto se desarrolla, se genera un esqueleto embrionario; al principio es un mesénquima, con forma similar a los huesos y en los sitios en que ocurrirá la osificación. La formación del hueso pasa por varias etapas y cambios. A partir del mesénquima se desarrolla cartílago hialino. En el cartílago convergen osteoblastos, y luego inicia el proceso de osteogénesis y osificación.

Osificación intramembranosa

Las células mesenquimatosas en el sitio de osificación –el centro de osificación– se reúnen y diferencian primero en células osteógenas y luego en osteoblastos. La matriz extracelular de los huesos es secretada por los osteoblastos. Esta secreción cesa y las células, ahora llamadas osteocitos, se depositan dentro de las lagunas. Estas células tienen delgadas prolongaciones citoplásmicas que se extienden hacia los canaliculos y radian en muchas direcciones. Después de unos pocos días la matriz extracelular se calcifica (endurece) como resultado del depósito de calcio y otros minerales.

Cuando se forman el hueso y la matriz extracelular, se desarrollan en trabéculas; las trabéculas se fusionan entre sí creando hueso esponjoso. La angiogénesis (formación de vasos sanguíneos) ocurre entre los espacios trabeculares. La médula ósea roja se genera cuando el tejido conjuntivo dentro de las trabéculas se diferencia, y el periostio se produce cuando el mesénquima se condensa al mismo tiempo que la formación de trabéculas. El hueso esponjoso permanece en el centro a pesar de la aparición de una delgada capa de hueso compacto en la superficie de los huesos esponjosos. El proceso delineado aquí se conoce como osificación intramembranosa, y se ilustra en la figura 5-2.

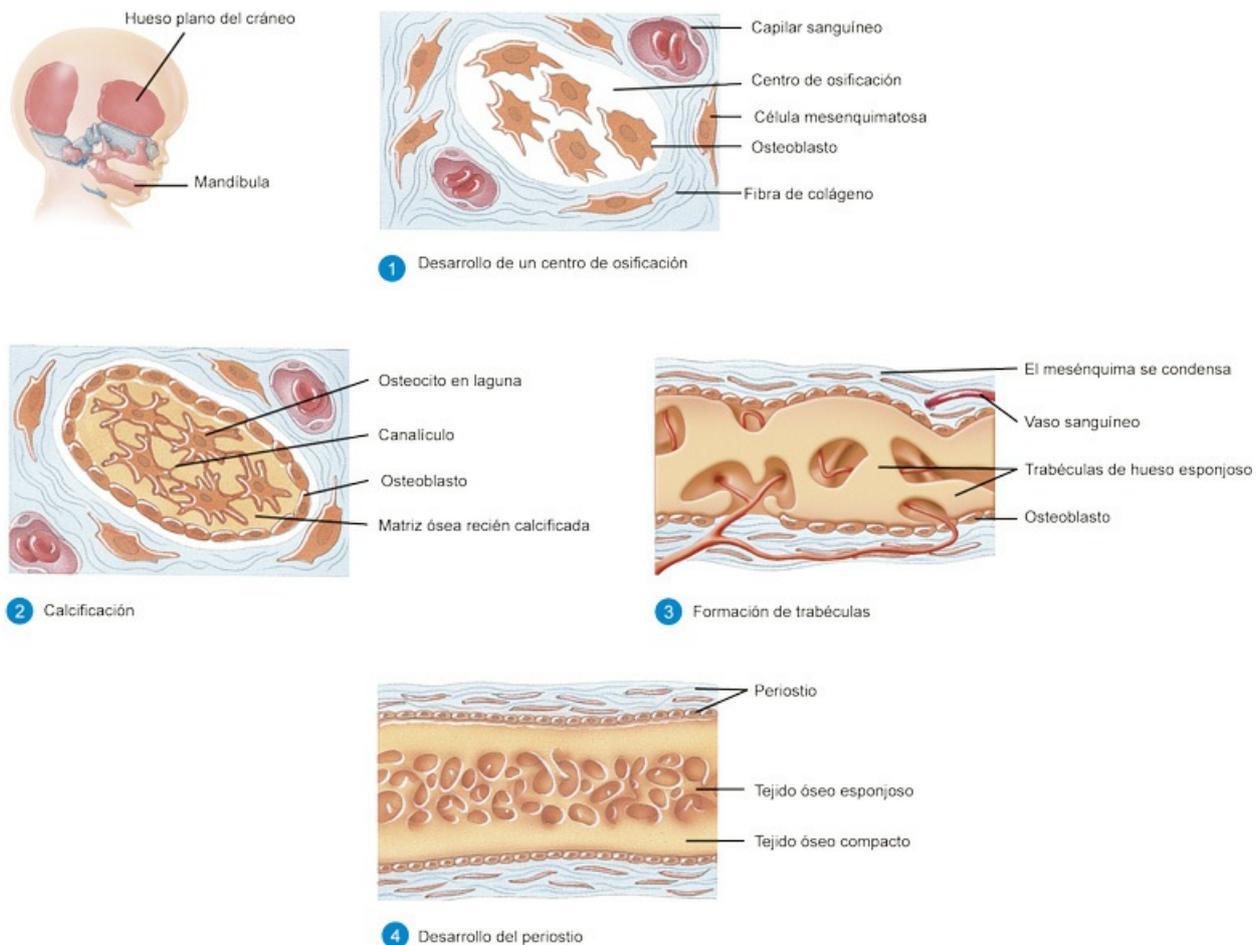


Figura 5-2. Osificación intramembranosa. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Osificación endocondral

La sustitución de cartílago por hueso se denomina osificación endocondral; la mayoría de los huesos del cuerpo se forman de esta manera. Las células mesenquimatosas se agrupan en el sitio en que va a formarse hueso, asumen la forma del futuro hueso y se transforman en condroblastos. Éstos secretan la matriz extracelular y producen un modelo en cartílago hialino. El pericondrio – una membrana– se desarrolla alrededor del modelo en cartílago.

A medida que los condroblastos quedan sepultados en lo profundo de la matriz de cartílago cambian y se convierten en condrocitos. Mientras el crecimiento continúa por división celular los condrocitos también crecen y la matriz extracelular comienza a calcificarse. Los condrocitos también empiezan a morir al ser incapaces de recibir nutrimentos a través de la matriz extracelular; cuando ocurre esta muerte, se forman lagunas y se fusionan en pequeñas cavidades.

Una arteria nutricia entra en el pericondrio y la matriz que está calcificándose; la osificación ocurre desde la superficie externa del hueso hacia dentro. Esta actividad favorece la producción dentro del pericondrio de células osteógenas que se convertirán (por diferenciación) en osteoblastos. El hueso, así formado se denomina periostio; hacia el centro crecen los vasos sanguíneos (nutricios), y con el tiempo la mayor parte del cartílago es sustituida por hueso.

La médula ósea se desarrolla a medida que el centro de osificación primaria crece hacia los extremos del hueso; aquí, los osteoblastos degradan algo del hueso esponjoso recién formado. Conforme esta acción continúa produce una cavidad, la cavidad medular (para la médula ósea), en el cuerpo del hueso (llamado diáfisis).

Con frecuencia se desarrollan centros de osificación secundaria antes del nacimiento o inmediatamente después, cuando los vasos sanguíneos entran en las epífisis. La formación de hueso en la osificación secundaria es similar a la que ocurre en la primaria; sin embargo, no quedan cavidades medulares. En la osificación secundaria el proceso ocurre hacia fuera, desde el centro de la epífisis hacia la superficie del hueso.

El cartílago articular y las placas epifisarias se forman a partir del cartílago hialino que cubre las epífisis. Antes de que una persona alcance la edad adulta, el cartílago hialino queda entre la diáfisis y la epífisis. La figura 5-3 ilustra la osificación endocondral.

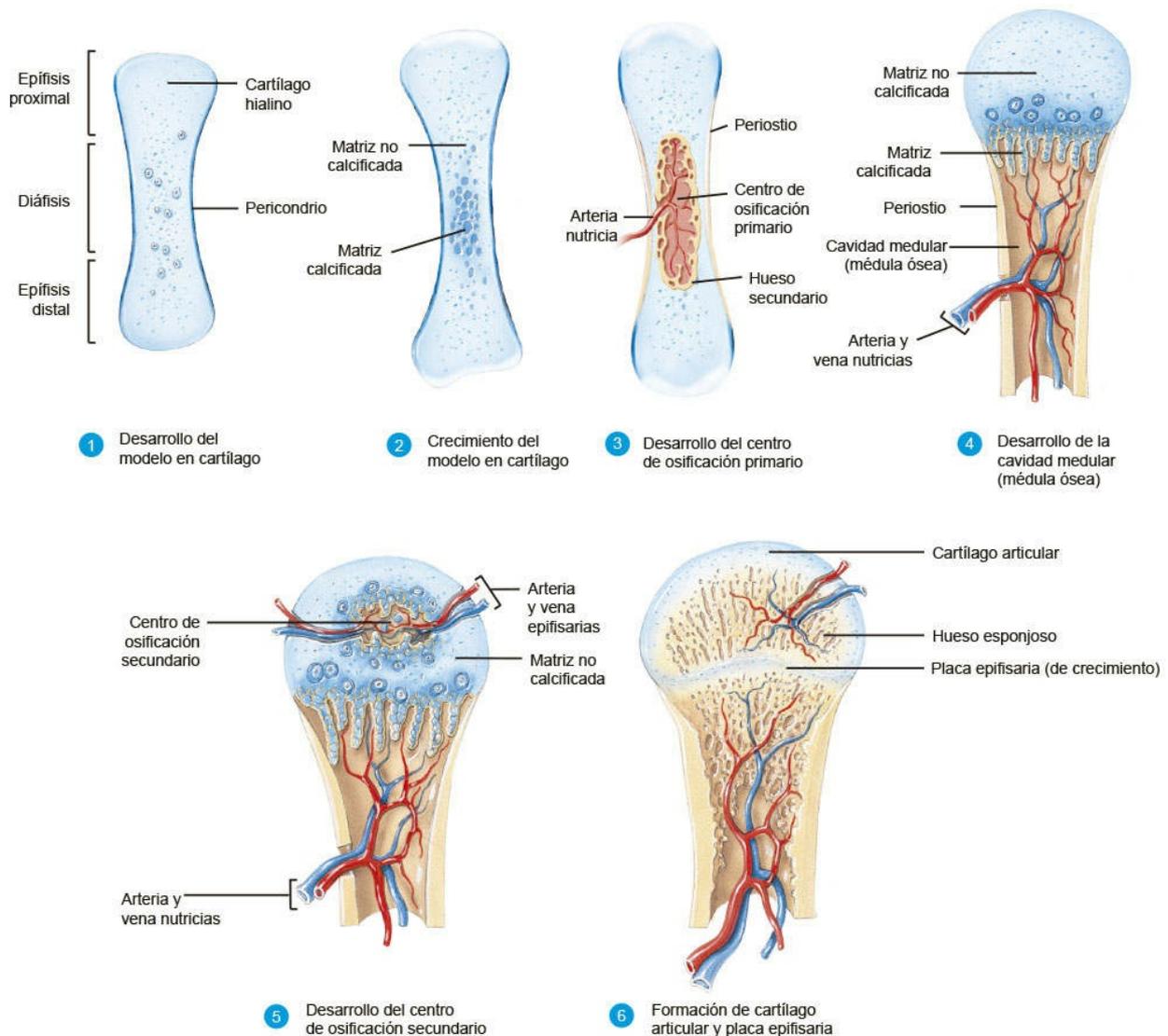


Figura 5-3. Osificación endocondral de la tibia. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Longitud y espesor del hueso

A medida que la persona crece (p. ej., durante la lactancia, niñez y adolescencia), los huesos largos crecen en longitud y espesor. Esta expansión suele continuar hasta que la persona tiene 15 años en el caso de las niñas y 16 años en los niños.

Los condrocitos presentes en la placa epifisaria están en constante división, y esta actividad se relaciona con el crecimiento del hueso en longitud. Al terminar la adolescencia, la formación de nuevas células decrece, y entre las edades de 18 y 25 años esta actividad cesa del todo.

El crecimiento del hueso en espesor ocurre cuando las células del pericondrio se diferencian en osteoblastos; éstos se transforman en osteocitos. Se agregan láminas a la superficie del hueso, y se forman osteonas (las unidades estructurales básicas del hueso compacto adulto). Ocurre actividad osteoblástica y osteoclástica, y el resultado es una cavidad medular más grande y un hueso con mayor espesor.

Remodelación del hueso

Al terminar la adolescencia, entre los 18 y 25 años de edad, ocurre la formación de nuevas células y el hueso se renueva en forma continua por remodelación. Esto se realiza por medio del remplazo continuo de hueso antiguo por nuevo. La remodelación procede a diferentes velocidades en diferentes partes del cuerpo. Cuando los huesos adquieren su forma adulta comienzan a ser demolidos de manera repetida, y se forma hueso nuevo en su lugar; esto demuestra sin lugar a dudas que el hueso es un órgano vivo metabolizante.

Caso clínico

Osteomielitis: Vicente

Vicente Palmar, contador de 27 años, juega squash; en un choque bastante aparatoso con una de las paredes de la cancha sufrió una lesión.

La osteomielitis es una infección de hueso que puede ser espontánea o, en el caso de Vicente, deberse a traumatismo o cirugía de huesos y articulaciones. Las infecciones óseas relacionadas con implantes, que ocurren después de colocar prótesis articulares (de cadera, rodilla, hombro, tobillo, etc.) u osteosíntesis (implante de placas, tornillos o clavos para fracturas u osteotomías), son una de las complicaciones más desafiantes en la cirugía ortopédica y de traumatismos, y a menudo requiere un tratamiento complejo en centros especializados.

Entre los signos y síntomas de la osteomielitis se incluyen:

- Fiebre o calosfríos.
- Letargo.
- Dolor en la zona de la infección.
- Tumefacción, calor y enrojecimiento en la zona de la infección.

Sin embargo, en ocasiones la osteomielitis no causa signos ni síntomas o éstos son

difíciles de distinguir de los de otras afecciones. Debido a la estructura del hueso, esta infección representa un gran reto, y a menudo requiere una o más cirugías para extirpar el hueso enfermo o muerto (osteonecrosis) y antibioticoterapia prolongada, durante seis semanas o más.

Debe haber un equilibrio fino entre la degradación y la formación de hueso: si éste se forma con demasiada rapidez, será grueso en forma anormal y pesado. Por otro lado, el hueso poroso que resulta de la pérdida excesiva de calcio o tejido óseo se rompe con facilidad.

Consideraciones clínicas

Artrosis

La degradación y formación de hueso continúa durante toda la vida de la persona en longitud, espesor y masa. Durante el envejecimiento es posible que ocurra daño de las articulaciones, las cuales son encargadas de hacer posible el movimiento relativo de los huesos.

La artrosis es un trastorno degenerativo no inflamatorio de huesos y articulaciones. Es más común en personas mayores de 50 años, pero también afecta a individuos más jóvenes, y las mujeres la sufren más que los varones.

En forma característica son afectadas las articulaciones; se daña el cartílago, los huesos crecen en sus extremos y alrededor de las articulaciones, y puede presentarse sinovitis (inflamación de los tejidos que rodean las articulaciones).

El impacto de la artrosis varía de una persona a otra; la atención del paciente dependerá de la valoración de sus necesidades individuales. No hay curación, pero existen muchas intervenciones que pueden ayudar a mejorar su salud y bienestar.

Se requiere un enfoque multidisciplinario para la atención, sea en un ambiente hospitalario o en el domicilio del paciente. Por ejemplo, puede ser útil realizar ajustes en el modo de vida, aumentar el ejercicio y modificar el calzado. La administración de medicamentos para controlar el dolor y la inflamación también ayuda a que la persona realice sus actividades cotidianas de manera más eficaz, con lo que se promueve su independencia.

Fracturas óseas

Tucker (2011) define una fractura como la rotura de un hueso por lesión o enfermedad. Existen varios tipos de fracturas:

1. Simple.
2. Compuesta.
3. Conminuta.
4. En tallo verde (incompleta).

La reparación de un hueso que se ha roto (fracturado) pasa por varias etapas (figura 5-4). Aunque el hueso tiene un abundante suministro de sangre, a veces la cicatrización tarda muchos meses. La fractura del hueso interfiere de manera temporal con su riego sanguíneo, y esto da como resultado una demora en la curación.

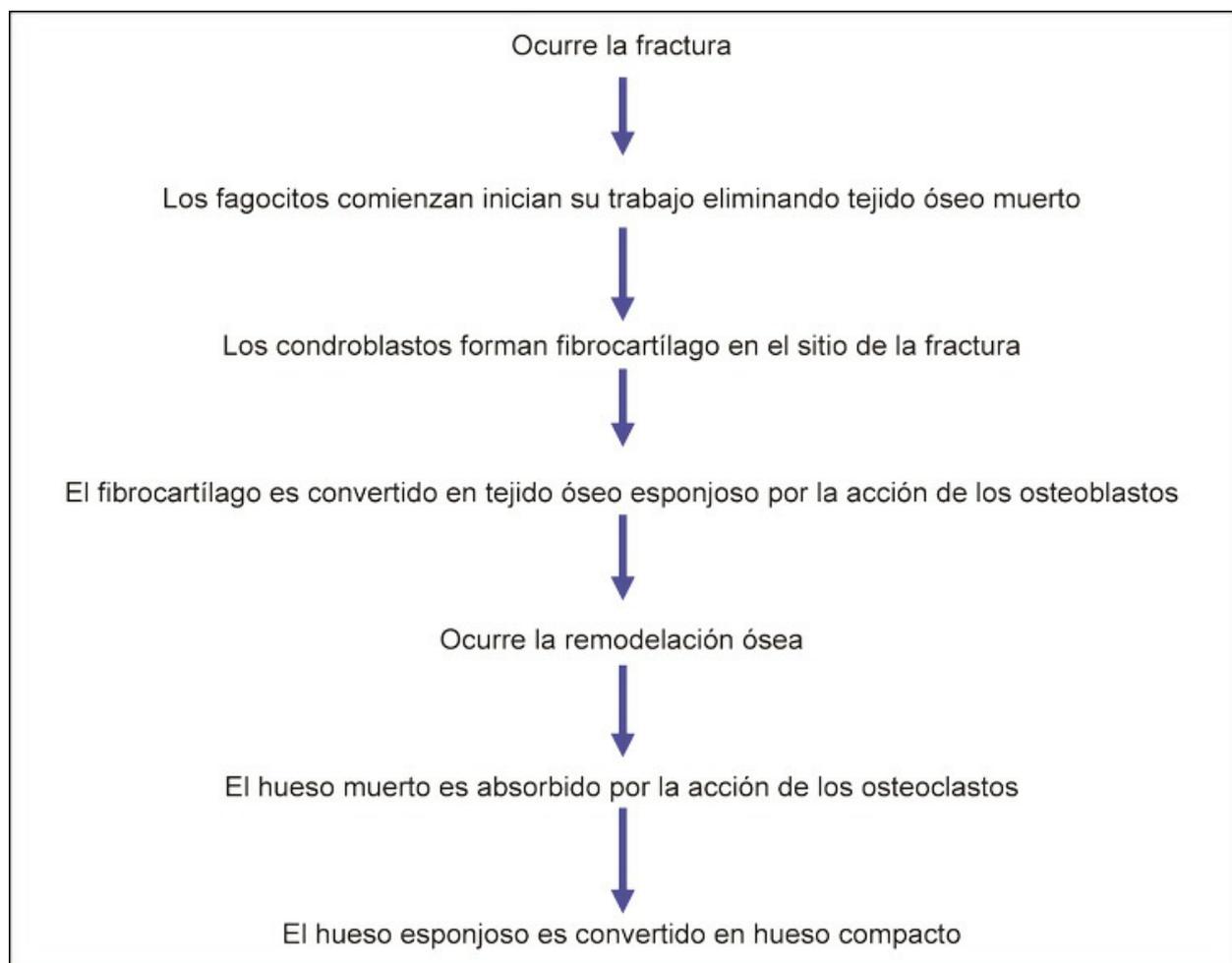


Figura 5-4. Las etapas de una fractura proceden hasta la reparación.

Cuando ocurre una fractura, los fagocitos eliminan todos los tejidos óseos muertos. Asimismo, proliferan los osteocitos, ya que la fractura estimula su producción. El hueso cicatriza en forma gradual a medida que se depositan calcio y fósforo (necesarios para fortalecer y endurecer el nuevo hueso) y las

células óseas crecen y se duplican con lentitud. McRae (2006) sugiere que la curación completa del hueso puede requerir meses.

El hueso tiene la capacidad de regenerarse y cicatrizar por sí solo; la acción de los osteoblastos y osteoclastos produce nuevas células y elimina las que han muerto. Tortora y Grabowski (2009) sugieren que el equilibrio del calcio es un requisito esencial para el crecimiento y la reparación del hueso; esto se ve afectado por la concentración de vitamina D en el cuerpo y por el funcionamiento renal, intestinal, paratiroideo y suprarrenal.

Administración de medicamentos

Diclofenaco y misoprostol

Existe en el mercado un fármaco que contiene diclofenaco y misoprostol. El diclofenaco es un antiinflamatorio no esteroideo (AINE) que disminuye las hormonas responsables de la inflamación y el dolor. Por otra parte, el misoprostol reduce el ácido estomacal y repone sustancias protectoras del estómago que son afectadas por los AINE. Éstos tienden a causar sangrado gástrico.

Este fármaco se usa para tratar afecciones del esqueleto como la artrosis y la artritis reumatoide, y se administra a aquellas personas que podrían estar en alto riesgo de sufrir úlceras gástricas o intestinales.

No debe administrarse a embarazadas, ya que el misoprostol puede causar defectos congénitos, aborto, parto prematuro o rotura uterina. Quienes presentan sangrado gástrico o intestinal activos no deben usar esta combinación. El diclofenaco eleva el riesgo de ataques cardíacos o accidente cerebrovascular letales; este riesgo aumenta si el tratamiento es prolongado o si la persona tiene cardiopatía.

Antes de administrar este fármaco la enfermera debe determinar si el paciente es alérgico al diclofenaco o al misoprostol, o si presenta sangrado gástrico o intestinal activos. No debe administrarse sin haber recabado una historia clínica detallada, ya que está contraindicado en algunas situaciones.

El fármaco se administra con alimentos o leche para aminorar el malestar estomacal. No deben aplastarse o romperse los comprimidos; éstos deben deglutirse enteros, y no masticarse. Si la persona usa el fármaco por tiempo prolongado, deben realizarse análisis de sangre frecuentes.

Estructura y riego sanguíneo del hueso (histología)

Hay varios factores que inciden en el crecimiento del hueso, y por tanto en su estructura (Cuadro 5-4).

Administración de medicamentos

Inyecciones de hialuronato

El líquido sinovial normal contiene grandes cantidades de ácido hialurónico, lo cual hace que el líquido articular sea resbaloso. Los hialuronatos sintéticos pueden inyectarse en la rodilla para el tratamiento de la artritis. El alivio del dolor ocurre en los días siguientes a la inyección y puede durar varios meses. Aparte de la rodilla, se considera el uso del fármaco en otras articulaciones como las del hombro, tobillo y codo.

Suele administrarse un tratamiento de 3 a 5 inyecciones, a intervalos de 1 a 3 semanas. Las dos primeras inyecciones pueden aplicarse con poco tiempo de diferencia, y el periodo entre las restantes es prolongado. A veces se recomiendan tratamientos repetidos.

Este tipo de medicación sólo suele emplearse en personas con artrosis que no pueden usar AINE o que los han usado pero no logran una analgesia adecuada. Los pacientes en espera de cirugía articular pueden beneficiarse de estas inyecciones.

El fármaco tiene pocos efectos adversos: algunas personas experimentan una ligera reacción alérgica, puede haber dolor y tumefacción temporales en la articulación después de inyectar, y hay un pequeño riesgo de infección. La enfermera debe indicar al paciente que si presenta un dolor articular intenso después de la inyección, debe llamar al hospital o la clínica donde se la administraron.

Una alternativa a las inyecciones de hialuronanos es una inyección de esteroide en la articulación. Las inyecciones de esteroide tienen efecto antiinflamatorio, no lubricante.

Cuadro 5-4. Algunos factores que inciden en la estructura del hueso

| Factor | Comentario |
|-----------|---|
| Vitaminas | A, C, D, K y B12. Hay varias fuentes de estas vitaminas, cuyas funciones varían. En exceso pueden ser tóxicas, y un posible efecto de su deficiencia es el escaso crecimiento |
| Hormonas | Somatotropina (hGH), factores de crecimiento insulinoides (IGF), estrógenos, andrógenos y hormonas tiroideas. Algunas de estas hormonas se producen en la hipófisis; por lo tanto, cualquier trastorno que afecte esta glándula podría causar problemas relacionados con la formación y estructura del hueso. Los IGF son producidos por el hígado en respuesta a hGH. La falta de liberación de estrógenos (hormonas sexuales producidas en los ovarios) y andrógenos (hormonas sexuales producidas en los testículos) puede causar complicaciones en varias partes del cuerpo, incluidos los huesos |
| Minerales | Calcio, fósforo, magnesio y flúor. El calcio queda disponible para el resto del organismo cuando ocurre remodelación ósea. La cantidad de calcio en la sangre debe estar dentro de límites precisos; en caso contrario pueden ocurrir |

| | |
|-----------|--|
| | problemas graves; el corazón puede dejar de latir si hay un exceso de calcio circulante |
| Ejercicio | Todo ejercicio es benéfico para el organismo, pero el que implica levantar peso reviste especial importancia para estimular el crecimiento del hueso, en particular aquellos ejercicios que aplican esfuerzo a los huesos. Cuando se somete a esfuerzo, el tejido óseo se hace más fuerte; al efectuarse la remodelación; sin este esfuerzo el hueso se debilita, y ocurre desmineralización |

Fuente: Adaptado de Tortora y Derrickson (2009) y Rizzo (2006). Reproducido con permiso de John Wiley & Sons.

Todos los factores citados en el cuadro 5-4 son necesarios para el crecimiento del hueso, y una alteración en cualquiera de ellos afectará la estructura ósea así como varias otras funciones corporales.

Riego sanguíneo

El riego sanguíneo del hueso se realiza por tres vías:

- Conductos de Havers.
- Conductos de Volkmann.
- Vasos.

Los conductos de Havers son diminutos túneles paralelos al eje mayor del hueso por los cuales corren las arteriolas; permiten el metabolismo eficiente de las células óseas. Son conductos centrales que contienen vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos. Están rodeados por láminas constituidas por anillos de matriz extracelular calcificada dura. Entre las láminas se encuentran las lagunas, que contienen los osteocitos, y en todas direcciones radian los canaliculos, llenos de líquido extracelular. Estas diversas estructuras interconectadas llevan nutrientes y oxígeno a los huesos, además de constituir una vía para la eliminación de desechos.

El periostio proporciona la vía para que los vasos sanguíneos, nervios y vasos linfáticos penetren los huesos compactos a través de los conductos de Volkmann. Estos vasos sanguíneos, linfáticos y nervios se conectan con los de la médula ósea, periostio y conductos de Havers. El líquido presente en los conductos de Volkmann baña los osteocitos, llevándoles oxígeno y eliminando desechos (incluido dióxido de carbono), con lo que ayuda a mantener los osteocitos vivos y saludables (Rizzo, 2006). La figura 5-5 ilustra el sistema de Havers en hueso compacto y las trabéculas en hueso esponjoso.

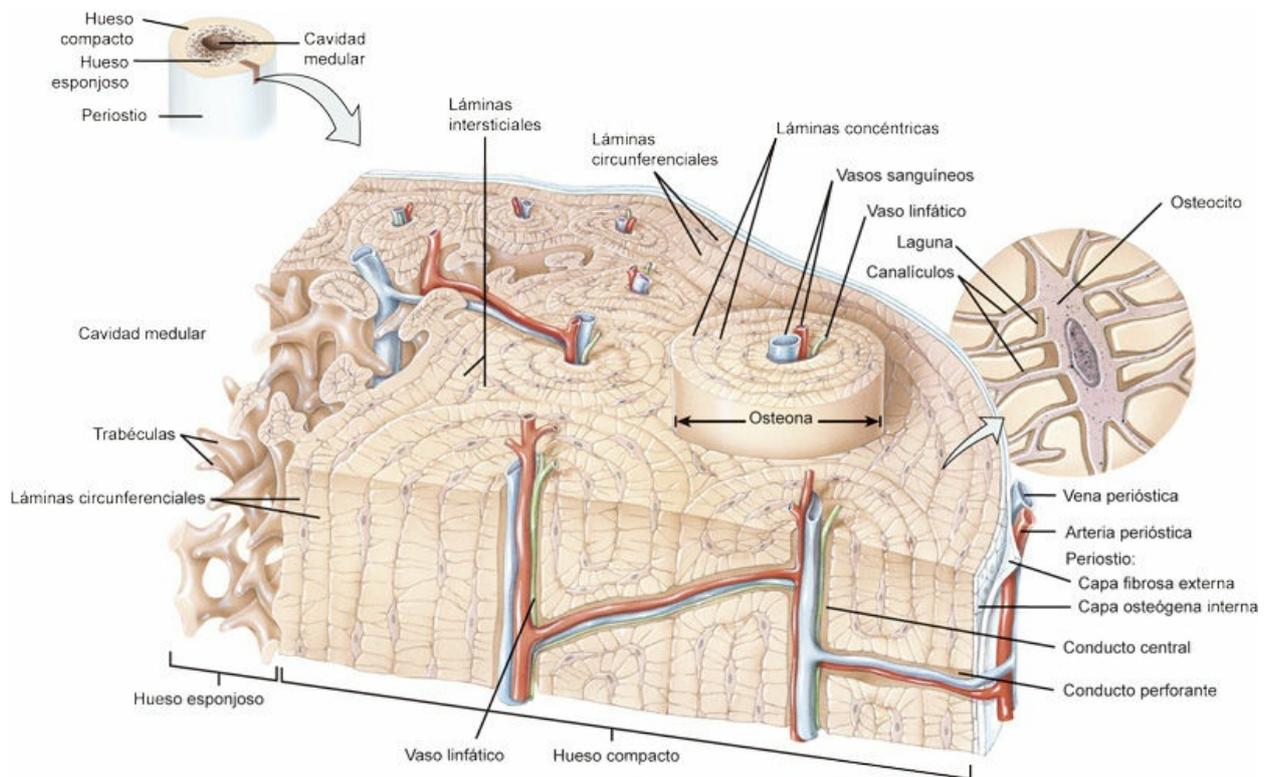


Figura 5-5. Sistema de Havers en hueso compacto y trabéculas en hueso esponjoso. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Organización del hueso con base en la forma

Según Rizzo (2006), existen cinco categorías en que pueden dividirse los huesos individuales del cuerpo:

- Largos.
- Cortos.
- Planos.
- Irregulares.
- Sesamoideos.

Huesos largos

Algunos ejemplos de huesos largos son el húmero, clavícula, radio, cúbito, fémur, tibia y peroné. Metacarpianos, metatarsianos y falanges también se clasifican como huesos largos (pese a su cortedad) porque su longitud excede su anchura. Hacen posible el movimiento, en particular de las extremidades (p. ej., del fémur y húmero).

Los huesos largos consisten en una diáfisis, formada sobre todo por hueso compacto, y una metáfisis, compuesta en mayor medida por hueso esponjoso (trabecular o poroso). Tienen dos extremos, separados por la metáfisis, llamados epífisis; la línea de separación se denomina línea epifisaria. La diáfisis es más gruesa hacia la parte media del hueso. Esto se debe a que es ahí donde el hueso recibe mayor esfuerzo. Los huesos largos tienen una ligera curvatura, que también ayuda a su resistencia y a la distribución del peso. El interior del cuerpo del hueso contiene la médula ósea (en la cavidad medular). En la figura 5-6 se ilustra un hueso largo.

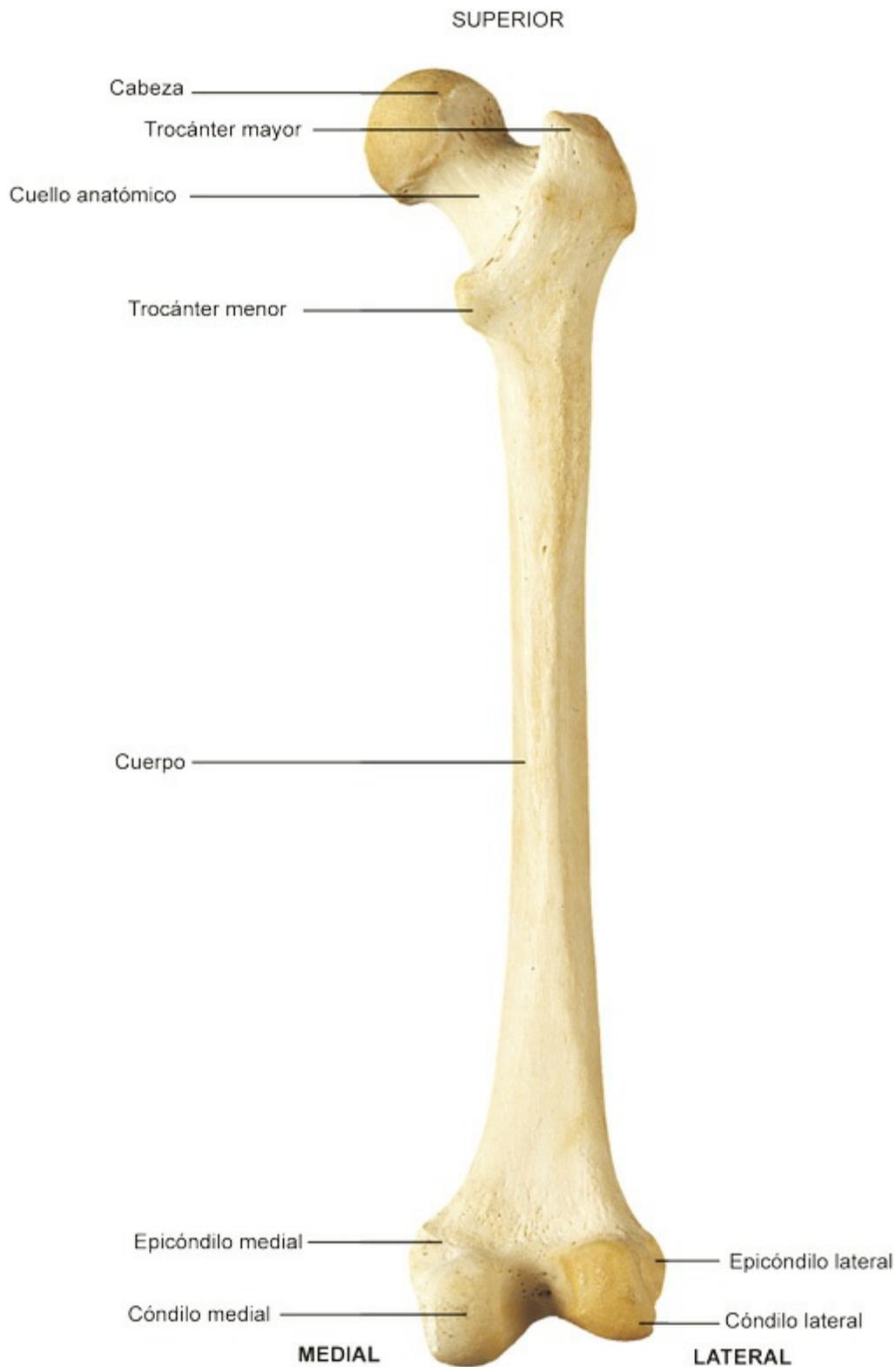


Figura 5-6. Un hueso largo, el fémur. *Fuente:* Tortora (2008). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Huesos cortos

Estos huesos suelen existir en pares; son fuertes y compactos. A menudo se encuentran en partes del cuerpo en que se requiere poco movimiento. Son ejemplos de huesos cortos los carpianos (de la muñeca) y los tarsianos (del pie) (figura 5-7).

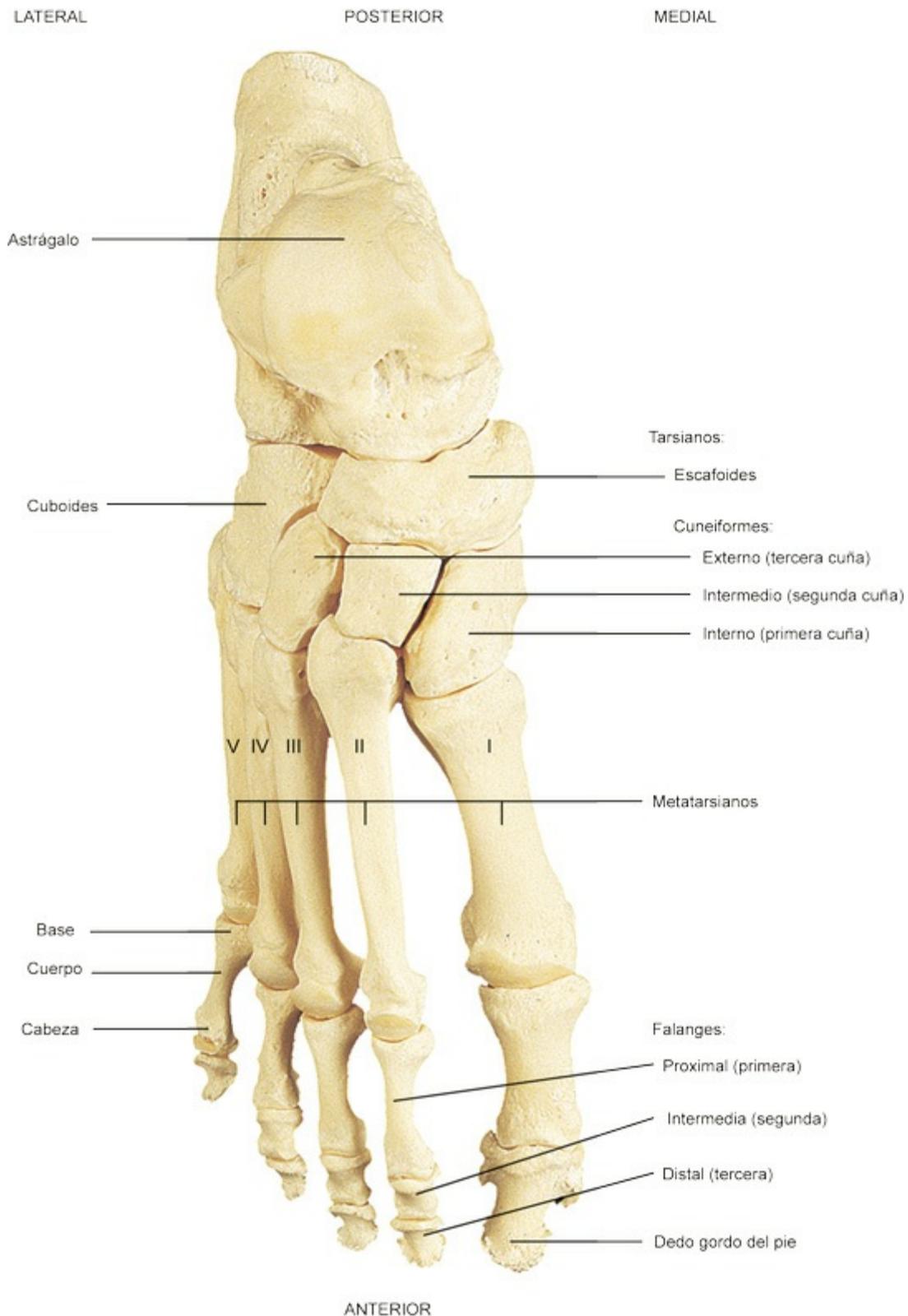
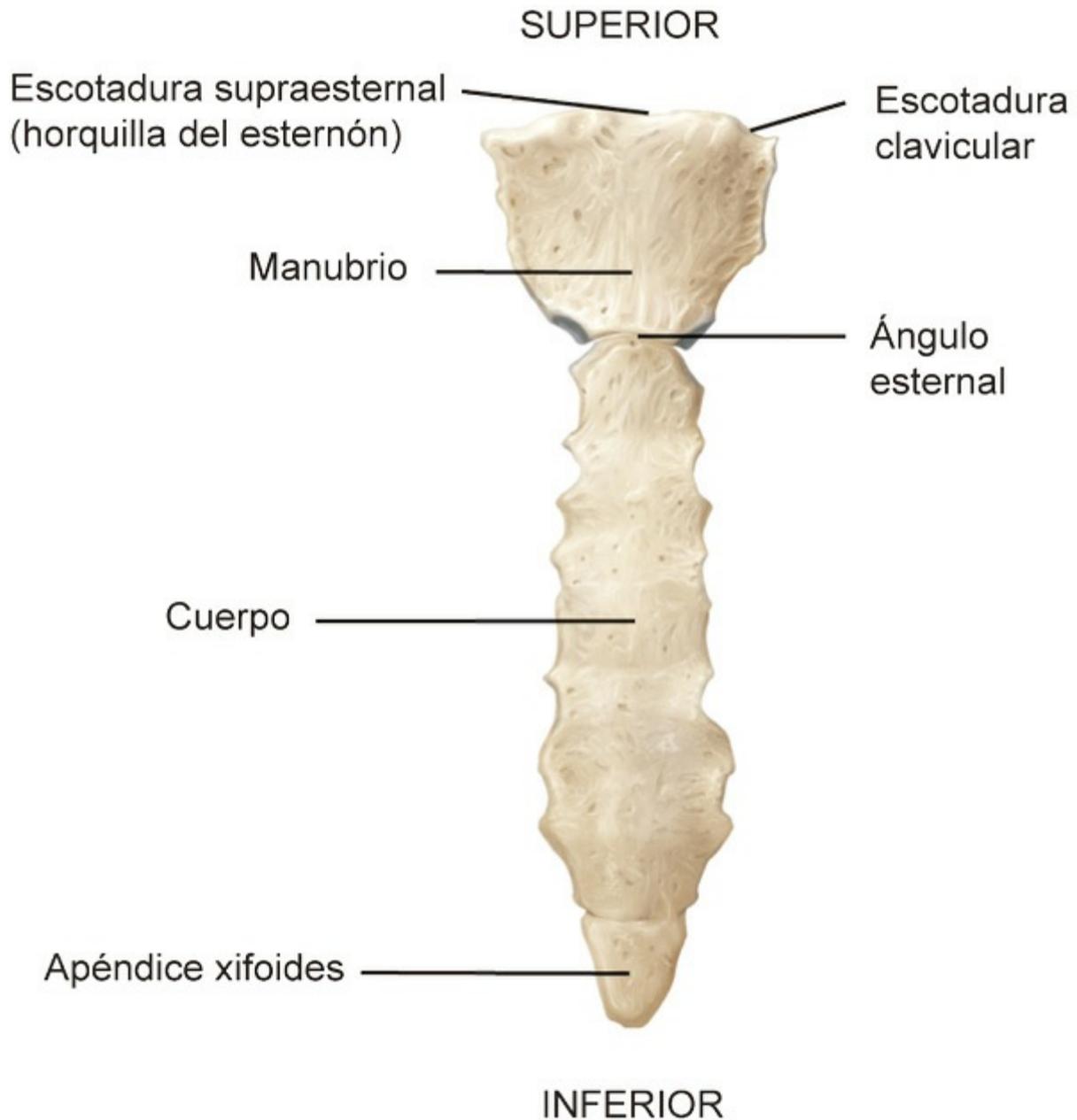


Figura 5-7. Huesos tarsianos como ejemplos de huesos cortos. *Fuente:* Tortora (2008). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los huesos cortos no son sólo versiones más cortas de los largos; carecen de un eje largo y tienen forma irregular. Poseen una capa delgada de tejido compacto sobre hueso predominantemente esponjoso o trabecular.

Huesos planos

Éstos son huesos delgados que se encuentran donde se requiere inserción muscular o protección de tejidos blandos o delicados del cuerpo. Su superficie plana amplia permite una extensa inserción muscular. Son ejemplos de huesos planos el esternón, costillas, omóplato, algunos huesos del cráneo y otros de la pelvis (figura 5-8). Estos huesos a menudo son curvos y consisten en tejidos compactos que envuelven una capa de hueso esponjoso.



Vista anterior del esternón

Figura 5-8. Un hueso plano, el esternón. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Huesos irregulares

Estos huesos no se ajustan a las categorías descritas antes ya que difieren en varias características. Como su nombre lo indica, son irregulares, diferentes y peculiares. Estos huesos consisten en hueso esponjoso rodeado por capas delgadas de hueso compacto. Entre ellos se incluyen las vértebras, cóccix, esfenoides, cigomático y huesecillos del oído (figura 5-9).

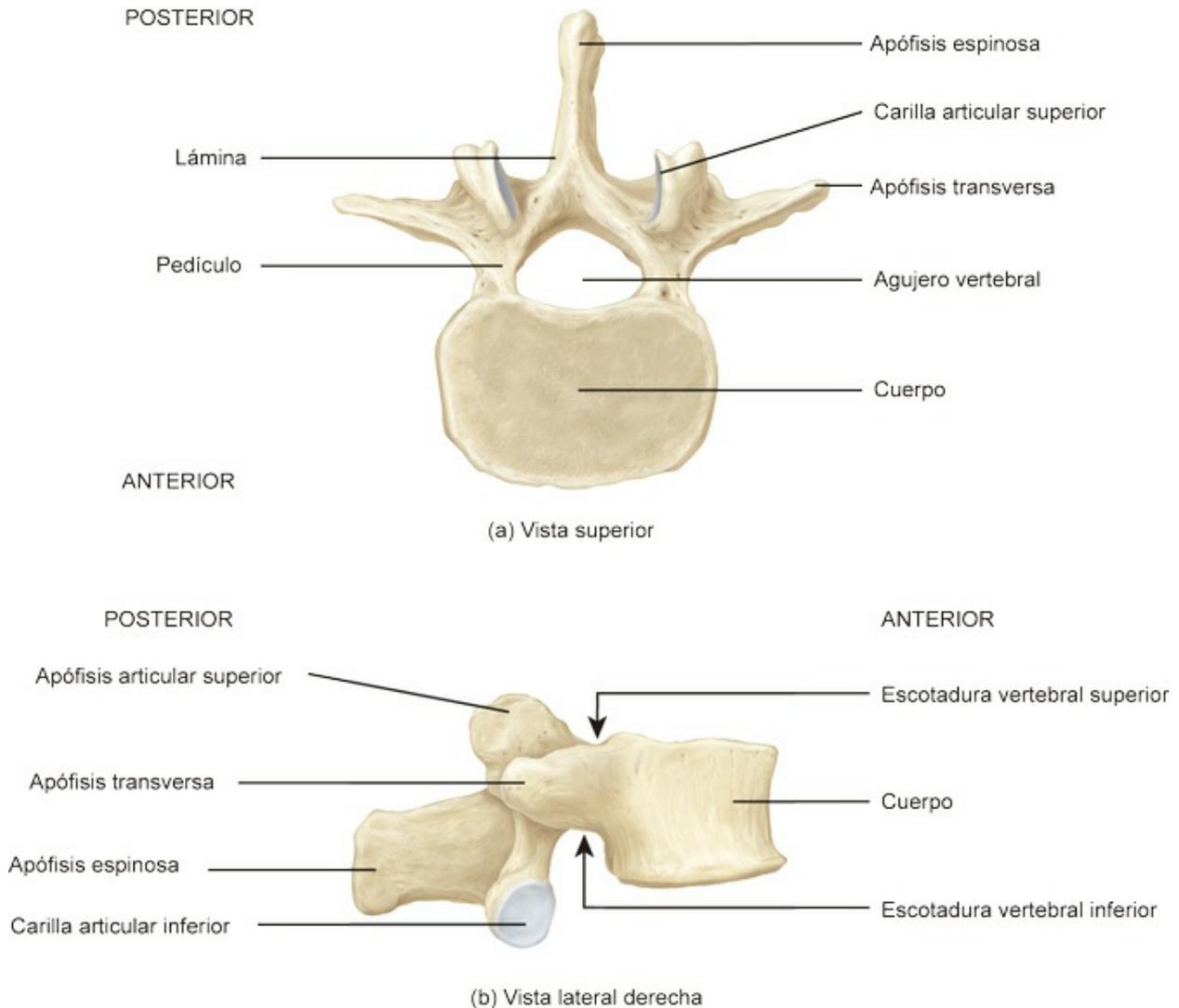
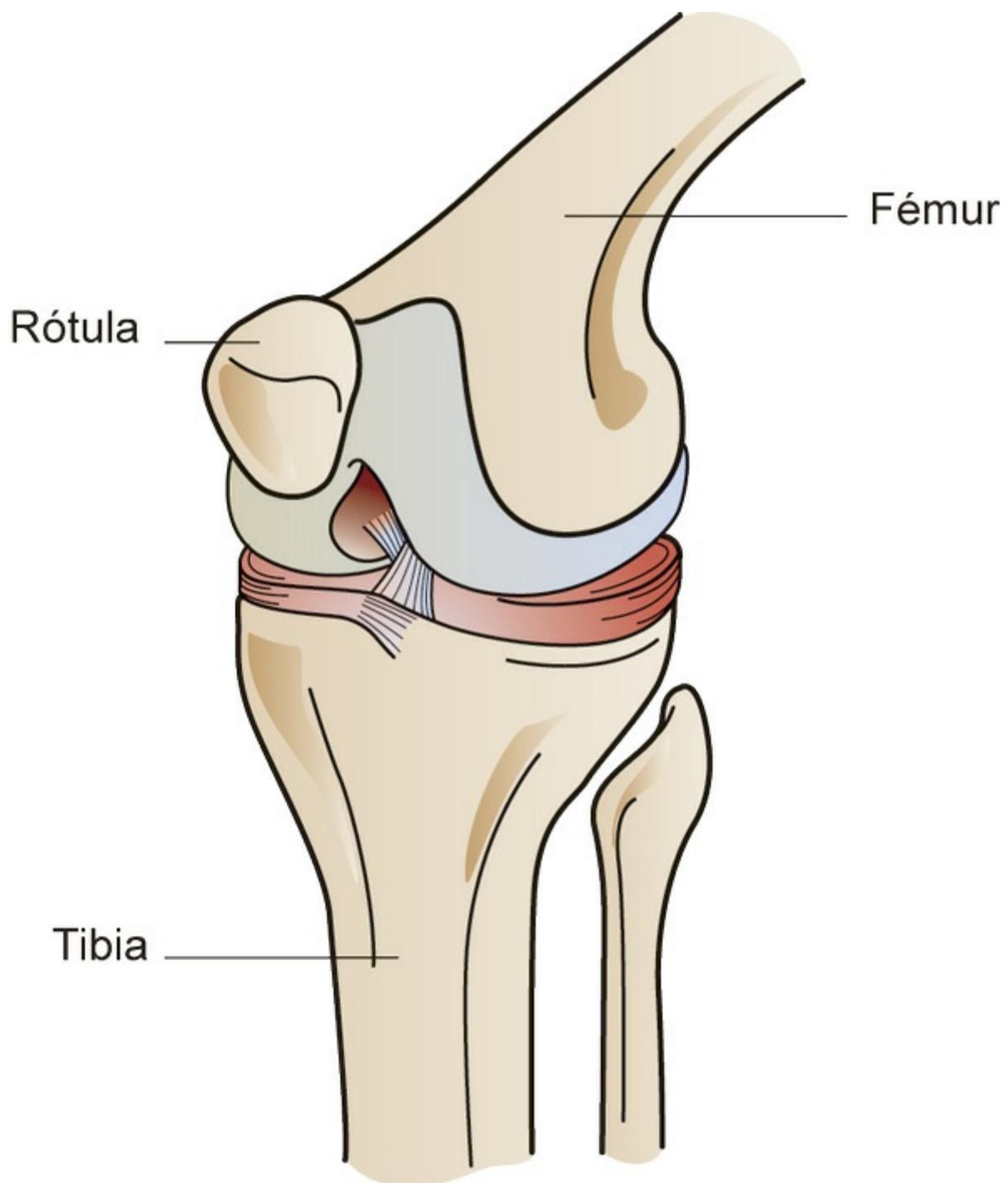


Figura 5-9. (a, b) Las vértebras, huesos irregulares. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Huesos sesamoideos

La rótula es un hueso sesamoideo, y algunos de los huesos de muñeca y tobillo también podrían clasificarse como tales. Los sesamoideos son huesos con tendones; son pequeños y redondeados, y ayudan al funcionamiento de los músculos. En la figura 5-10 se muestra la rótula.



Vista anterolateral de la rodilla

Figura 5-10. Rótula, un hueso sesamoideo. *Fuente:* Peate y Nair (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Articulaciones

Una articulación es el punto en el cual se encuentran dos o más huesos. Algunas personas las llaman coyunturas a las articulaciones. Se clasifican en:

- Fibrosas.
- Cartilagosas.
- Sinoviales.

Articulaciones fibrosas

Estas articulaciones también se llaman sinartrosis y son mantenidas juntas por un solo ligamento, un tejido denso irregular formado por fibras ricas en colágeno. No hay cavidad sinovial en este tipo de articulación. Son ejemplos de articulaciones sinartrodiales los sitios en que los dientes son mantenidos en sus alvéolos óseos; otros ejemplos son las articulaciones radiocubital y tibioperonea.

Articulaciones cartilagosas

Estas articulaciones también se denominan sincondrosis y sínfisis. Existen donde la conexión entre los huesos que se articulan está formada por cartílago sin cavidad sinovial; por ejemplo, las articulaciones entre vértebras en la columna vertebral.

Las sincondrosis son articulaciones temporales, y sólo se encuentran en niños hasta el final de la pubertad, cuando el cartílago hialino se convierte en hueso; por ejemplo, las placas epifisarias de los huesos largos. Las articulaciones denominadas sínfisis son articulaciones cartilagosas permanentes que tienen una almohadilla de fibrocartílago interpuesta; por ejemplo, la sínfisis del pubis.

Articulaciones sinoviales

Las articulaciones sinoviales, también llamadas diartrosis, son con mucho las más comunes en el cuerpo humano. Son en extremo móviles, con una cavidad sinovial, y todas tienen una cápsula articular que rodea toda la articulación, una membrana sinovial (la capa interna de la cápsula) que produce líquido sinovial (una solución lubricante), y cartílago denominado cartílago hialino, que acolcha los extremos de los huesos que se articulan.

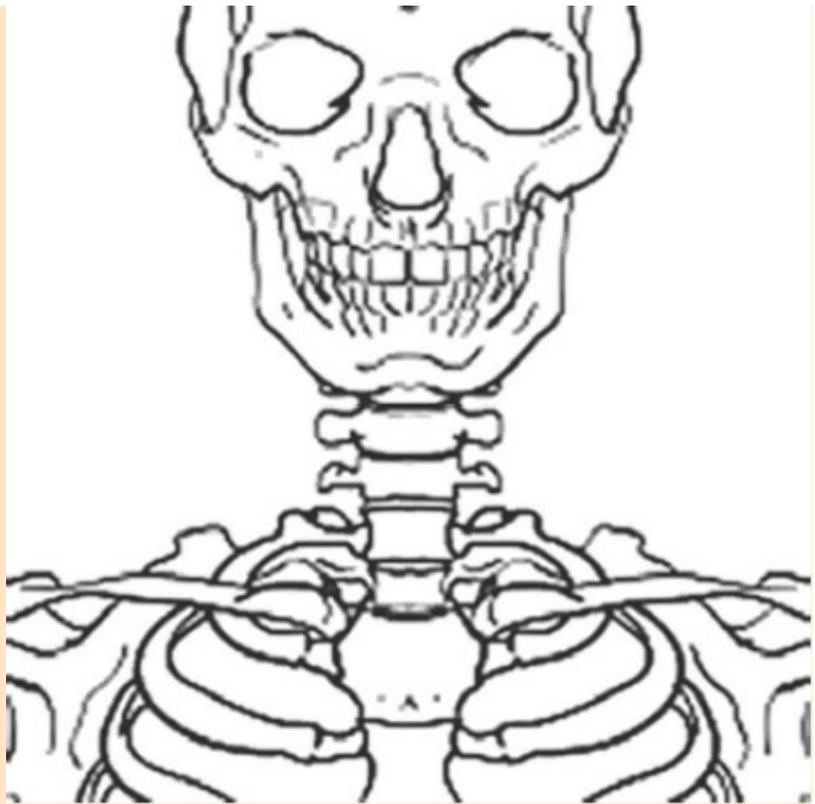
El líquido sinovial es una delgada película por lo general viscosa, clara o amarillenta. Este líquido ayuda a prevenir la fricción al lubricar la articulación, además de que aporta nutrientes y elimina productos de desecho. Si la articulación permanece inmóvil durante un tiempo el líquido se gelifica, y recupera su consistencia viscosa normal cuando la articulación comienza a moverse de nuevo.

Hay seis tipos de articulaciones sinoviales, que se clasifican por la forma de la articulación y el posible movimiento (cuadro 5-5).

Cuadro 5-5. Seis tipos de articulaciones

| Tipo de articulación | Movimiento en la articulación | Ejemplos |
|----------------------|---|--|
| Bisagra | Una porción convexa de un hueso embona en una porción cóncava de otro. El movimiento refleja la acción de una bisagra doméstica, y se limita a flexión y extensión. La articulación causa un movimiento de apertura y cierre. Estas articulaciones son uniaxiales | Codo Rodilla  |
| Pivote | Una parte redondeada de un hueso embona en un surco en otro hueso. Estas articulaciones sólo permiten el movimiento de un hueso respecto a otro (movimiento | Radio y cúbito Atlas y axis |

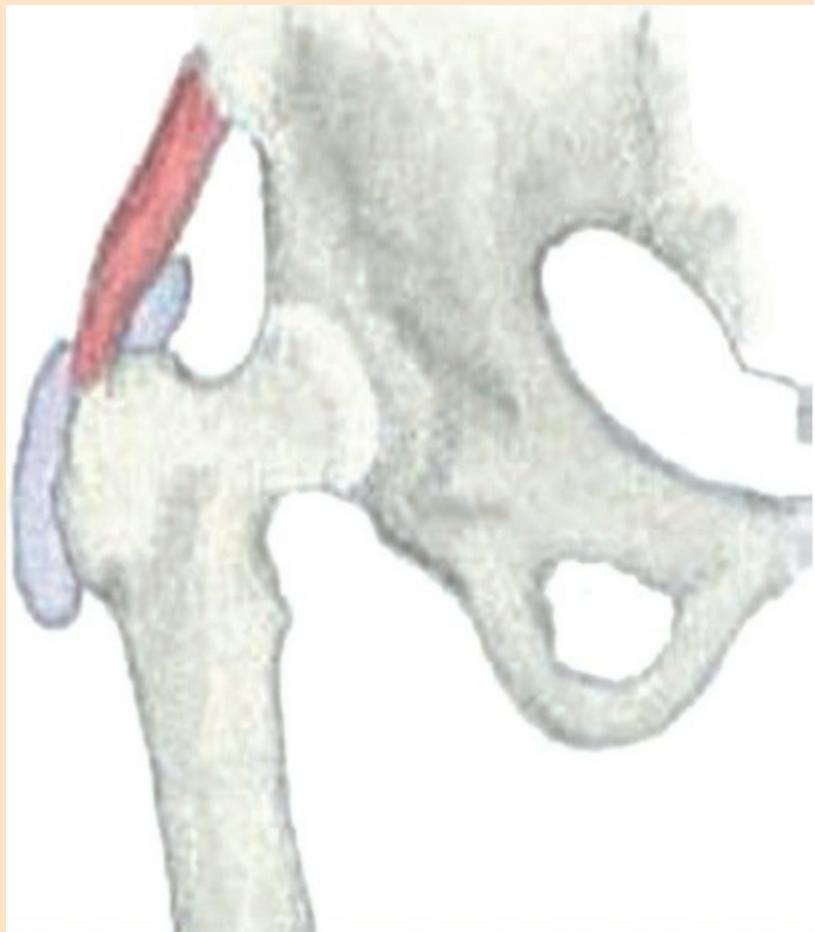
uniaxial)

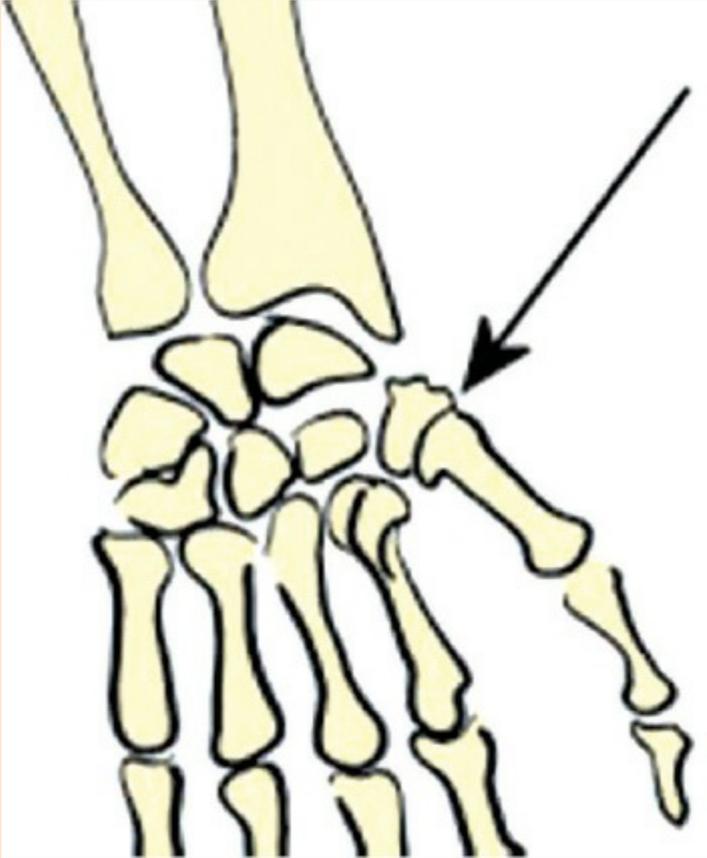
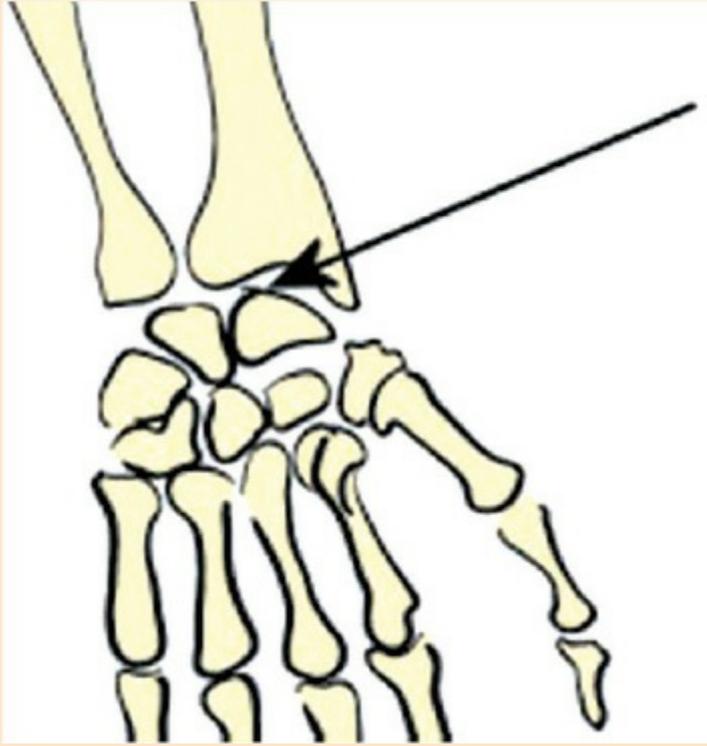


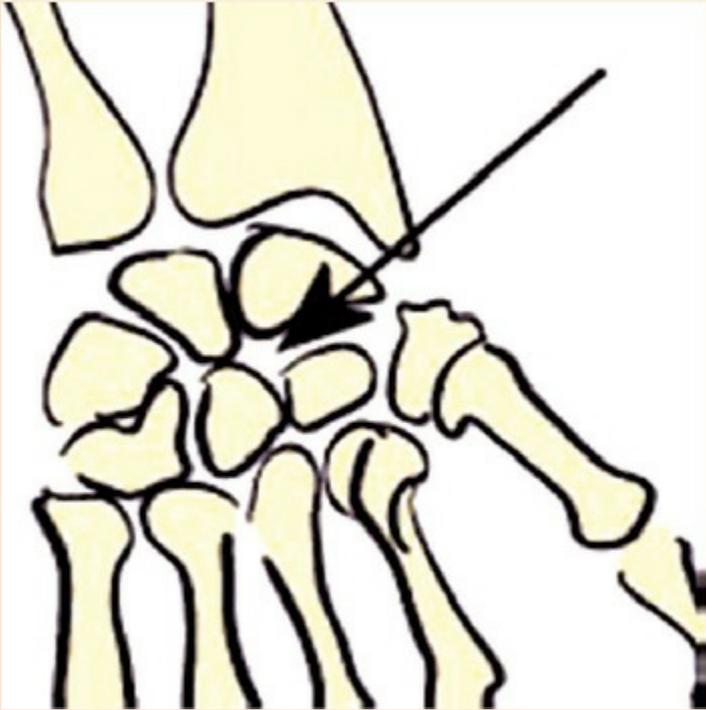
Esferoidea o enartrosis

El extremo esférico de un hueso embona en un cuenco cóncavo en otro hueso; de ahí el término esfera y cuenco. El movimiento se realiza por flexión, extensión y aducción. Se trata de una articulación triaxial

Cadera
Hombro



| | | |
|------------------------------|---|---|
| <p>Silla de montar</p> | <p>Similar a las articulaciones condiloides, pero permite mayor movimiento. Permite flexión, extensión y aducción. Se clasifica como triaxial.</p> | <p>Articulaciones carpometacarpianas del pulgar</p>  |
| <p>Condilar (Condiloide)</p> | <p>Donde una superficie ovalada de un hueso embona en una concavidad de otro hueso. Permite flexión, extensión y aducción. Es una articulación biaxial.</p> | <p>Articulaciones radiocarpiana y metacarpofalángicas de la mano</p>  |

| | | |
|---|--|--|
| Plana o artrodiás | Estas articulaciones implican una superficie plana o ligeramente curva, lo que permite movimientos de deslizamiento. Las articulaciones son mantenidas juntas por ligamentos, y el movimiento es restringido en todas direcciones. El predominante es de atrás adelante y de un lado al otro | Articulaciones intertarsiana e intercarpiana de manos y pies |
|  | | |

Administración de medicamentos

Recipientes de medicamentos

Las personas con afecciones del esqueleto como la artritis pueden encontrar difícil abrir los recipientes de los medicamentos, en particular los que tienen tapa a prueba de niños. Esto puede causarles frustración cuando tratan de extraer los fármacos prescritos para su dolor, y el resultado es más dolor.

Puede ser conveniente hablar con el farmacéuta o el terapeuta ocupacional a fin de asegurarse de que quienes necesitan el fármaco tengan acceso expedito a él, al tiempo que se garantiza un ambiente seguro. También se dispone de varios productos comerciales para ayudar a las personas a sujetar y abrir los recipientes; a menudo éstos vienen con una cubierta de caucho antideslizante en los puntos de sujeción, de modo que la mano de la persona no resbale.

Conclusión

Todas las actividades que las personas realizan implican movimiento; por ejemplo, en la comunicación verbal, el acto de mover la boca (mandíbula) para hablar requiere la participación del esqueleto. El esqueleto y los huesos del cuerpo son necesarios para funcionar de la mejor manera posible. Cuando se intercambian gases durante la respiración, se requiere movilidad para que esta actividad vital pueda realizarse. El esqueleto intacto hace posible esas actividades. La movilidad es un atributo esencial de la vida.

El esqueleto humano es un organismo vivo que metaboliza de manera constante. Se une de manera muy estrecha con los músculos; éstos aportan apalancamiento y movimientos, y el esqueleto aporta la armazón. Los huesos largos se encargan de la producción de eritrocitos (hematopoyesis); esta capacidad (o su ausencia) pueden tener un impacto sobre la salud y el bienestar de la persona. El sistema nervioso está relacionado con el esqueleto, ya que los músculos requieren un impulso nervioso para contraerse; éste es el que ocasiona el movimiento esquelético. El aparato digestivo degrada los alimentos a tal grado que los nutrimentos pueden ser usados para la producción de hueso. Las hormonas sintetizadas por los riñones ayudan a estimular la producción de médula ósea en los huesos largos.

El esqueleto es esencial para la vida, al dar soporte y protección a los órganos internos. Los huesos almacenan calcio –y, cuando es necesario, lo liberan–, un mineral decisivo para asegurar el funcionamiento adecuado del organismo.

Glosario

Abducción. Movimiento que se aleja de la línea media del cuerpo.

Aducción. Movimiento hacia la línea media del cuerpo.

Anatomía. Estudio de las estructuras corporales y su relación con otras estructuras del organismo.

Arteria. Vaso sanguíneo que transporta sangre oxigenada (excepto las arterias pulmonares) desde el corazón.

Articulación artrodial o deslizante. Articulación sinovial cuyas superficies articulares suelen ser planas, lo que permite sólo el movimiento de lado a lado o de adelante hacia atrás.

Articulación cartilaginosa. Articulación en la cual los huesos son empacados en forma apretada por cartílago; permite escaso movimiento. Esta articulación no tiene una cavidad sinovial.

Articulación condiloide. Articulación sinovial en la que un hueso de forma ovalada embona en una cavidad elíptica de otro.

Articulación en silla de montar. Articulación sinovial que articula la superficie de un hueso en forma de silla de montar sobre otro hueso que se dice tiene la forma de las piernas de un jinete.

Articulación en esfera o esferoidea. Articulación sinovial en la que la superficie redondeada de un hueso embona en la depresión en forma de cuenco de otro hueso.

Articulación. Estructura en la que convergen dos o más huesos.

Articulación fibrosa. Tipo de articulación que permite escaso o nulo movimiento.

Articulación trocoide o de pivote. Articulación en la que una superficie redondeada o cónica de un hueso se articula con un anillo formado en parte por otro hueso o un ligamento.

Calcificación. Depósito de sales minerales en una armazón formada por fibras de colágeno en la cual el tejido se endurece.

Cartílago. Material fuerte y tenaz en los extremos óseos que ayuda a distribuir la carga en la articulación; su superficie resbalosa permite el movimiento suave entre los huesos; un tipo de tejido conjuntivo.

Cavidad sinovial. Espacio entre los huesos que forman una articulación sinovial; está llena de líquido sinovial.

Cinesiología. Estudio del movimiento del cuerpo.

Colágeno. Proteína que constituye la mayor parte del tejido conjuntivo.

Diáfisis. Cuerpo de un hueso largo.

Epífisis. Extremo de un hueso largo.

Factor de crecimiento insulinoide (IGF). Producido por el hígado y otros tejidos, es una pequeña proteína que se sintetiza en respuesta a hGH.

Flexión. Movimiento en el que disminuye el ángulo entre dos huesos.

Fractura. Rotura de un hueso.

Hematopoyesis. Formación y desarrollo de glóbulos sanguíneos en la médula ósea después de nacer.

Histología. Estudio microscópico de los tejidos.

Homeostasis. Estado en el cual el ambiente interno del organismo permanece

relativamente constante dentro de límites fisiológicos.

Hormona. Sustancia secretada por células endocrinas que tiene la capacidad de modificar la actividad fisiológica de células específicas del cuerpo.

Huesecillos. Pequeños huesos del oído medio: martillo, yunque y estribo.

Hueso esponjoso, trabecular o poroso. Tipo de estructura ósea; semeja una red o malla.

In utero Dentro del útero.

Laguna. Pequeño espacio en los huesos en que se encuentran los osteocitos.

Láminas. Anillos de matriz calcificada dura en los huesos compactos.

Ligamentos. Bandas fibrosas tenaces de tejido conjuntivo que mantienen dos huesos juntos en una articulación.

Líquido sinovial. Líquido transparente, amarillo pálido y viscoso. Lubrica las articulaciones.

Macrófagos. Células que engullen y luego digieren desechos celulares y patógenos.

Médula. Material esponjoso presente en las cavidades de algunos huesos.

Mesénquima. Tejido conjuntivo embrionario a partir del cual se forman casi todos los otros tejidos conjuntivos.

Metáfisis. Parte de un hueso largo que se encuentra entre la diáfisis y la epífisis.

Óseo. Relativo al hueso.

Osificación. Formación de hueso; en ocasiones hace referencia sólo a su calcificación. También llamada osteogénesis.

Osteoblastos. Células que se originan de las células osteogénicas; participan en la formación de hueso.

Osteocitos. Células óseas maduras.

Osteoclastos. Células grandes que participan en la absorción y eliminación de hueso.

Osteofitos. Proyecciones laterales de hueso nuevo en articulaciones con artrosis; también llamados espolones.

Osteona. Unidad estructural básica del hueso compacto del adulto.

Periostio. Membrana que cubre el hueso consistente en células osteógenas, tejido conjuntivo y osteoblastos. Es fundamental para el crecimiento, reparación y nutrición del hueso.

Remodelación. Reemplazo del hueso envejecido por otro nuevo.

Resorción. Absorción de algo que se ha excretado.

Tejido óseo esponjoso (trabecular o poroso). Tejido óseo formado por una malla irregular de placas delgadas de hueso llamadas trabéculas. Algunos huesos están llenos de médula ósea roja, más a menudo huesos cortos, planos e irregulares, así como las epífisis de huesos largos.

Trabéculas. Placas delgadas de hueso esponjoso que forman una malla irregular.

Bibliografía

- McRae, R. (2006) *Pocket Book of Orthopaedics and Fractures*, 2nd edn. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Rizzo, D.C. (2006) *Delmar's Fundamentals of Anatomy and Physiology*, 2nd edn. New York: Thompson.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B. (2013) *Essentials of Anatomy and Physiology*, 9th edn . New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Grabowski, S.R. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 11th edn. New York : John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. (2008) *A Brief Atlas of the Human Skeleton, Surface Anatomy and Selected Medical Images*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Tucker, L. (2011) *An Introductory Guide to Anatomy and Physiology*, 4th edn . London: EMS Publishing.

Lecturas adicionales

Arthritis Research UK

www.arthritisresearchuk.org

Esta institución trabaja con pacientes y profesionales de la salud para mitigar el dolor de quienes viven con cualquier forma de artritis, ayudándoles a mantenerse activos. Proporciona fondos a investigaciones de alta calidad, forma profesionales de la salud y da información a pacientes con artritis y quienes los atienden.

National Osteoporosis Foundation UK

<https://www.nos.org.uk>

La *National Osteoporosis Society* es una institución caritativa del Reino Unido dedicada a mejorar el diagnóstico, prevención y tratamiento de la osteoporosis y fracturas por fragilidad. La National Osteoporosis Society UK Allied Health Professional Network se creó para proporcionar apoyo y formación profesional a especialistas afiliados que trabajan en el campo de la osteoporosis o las fracturas por fragilidad en Reino Unido.

Sarcoma UK

<http://sarcoma.org.uk>

Sarcoma UK es la única institución caritativa del Reino Unido que se concentra en todos los tipos de sarcoma. Los sarcomas son cánceres raros de músculo, hueso, nervios, cartílago, tendones, vasos sanguíneos y los tejidos adiposos y fibrosos.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Qué es un osteofito?
 - (a) Una célula ósea.
 - (b) Una pequeña proyección ósea.
 - (c) Una célula de cáncer de hueso.
 - (d) Una célula linfática.
2. ¿Dónde se localiza el maléolo medial?
 - (a) Cadera.
 - (b) Cavidad torácica.
 - (c) Extremo inferior de la tibia.
 - (d) Cráneo.
3. Otro nombre del omóplato es:
 - (a) Costilla.
 - (b) Esternón.
 - (c) Escápula.
 - (d) Pelvis.
4. ¿Qué significa el término cinesiología?
 - (a) Estudio de la luz.
 - (b) Estudio del cerebro.
 - (c) Estudio del arte.
 - (d) Estudio del movimiento del cuerpo.
5. Una articulación que permite el movimiento libre se conoce como:
 - (a) Diartrosis.
 - (b) Hemartrosis.
 - (c) Sinartrosis.
 - (d) Anfiartrosis.
6. El hueso de la quijada se llama:
 - (a) Calcáneo.
 - (b) Maxilar.
 - (c) Isquión.
 - (d) Mandíbula.
7. Una articulación como la del codo, que sólo se mueve en un plano, se conoce como:
 - (a) Articulación de bisagra.
 - (b) Articulación de cuenco.
 - (c) Articulación artrítica.
 - (d) Articulación en silla de montar.
8. El hueso está cubierto por una membrana de tejido protector llamada:
 - (a) Lagunas.
 - (b) Diáfisis.
 - (c) Peritoneo.
 - (d) Periostio.
9. Cráneo y costillas son parte del:

- (a) Esqueleto apendicular.
 - (b) Esqueleto externo.
 - (c) Esqueleto axial.
 - (d) esqueleto interno.
10. Las costillas están unidas a:
- (a) Vértebras cervicales.
 - (b) Vértebras torácicas.
 - (c) Vértebras lumbares.
 - (d) Cráneo.

Falso o verdadero

1. El esqueleto es un organismo vivo.
2. Hay más huesos en los adultos que en los bebés.
3. El hueso almacena y libera calcio.
4. Las costillas protegen al páncreas.
5. La médula ósea amarilla produce eritrocitos.
6. No hay diferencia en peso y talla entre los huesos del varón y la mujer.
7. La rótula se localiza en el húmero.
8. Los osteoblastos forman hueso nuevo.
9. El remplazo de hueso envejecido por hueso nuevo se llama remodelación.
10. El esqueleto axial tiene más huesos que el esqueleto apendicular.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

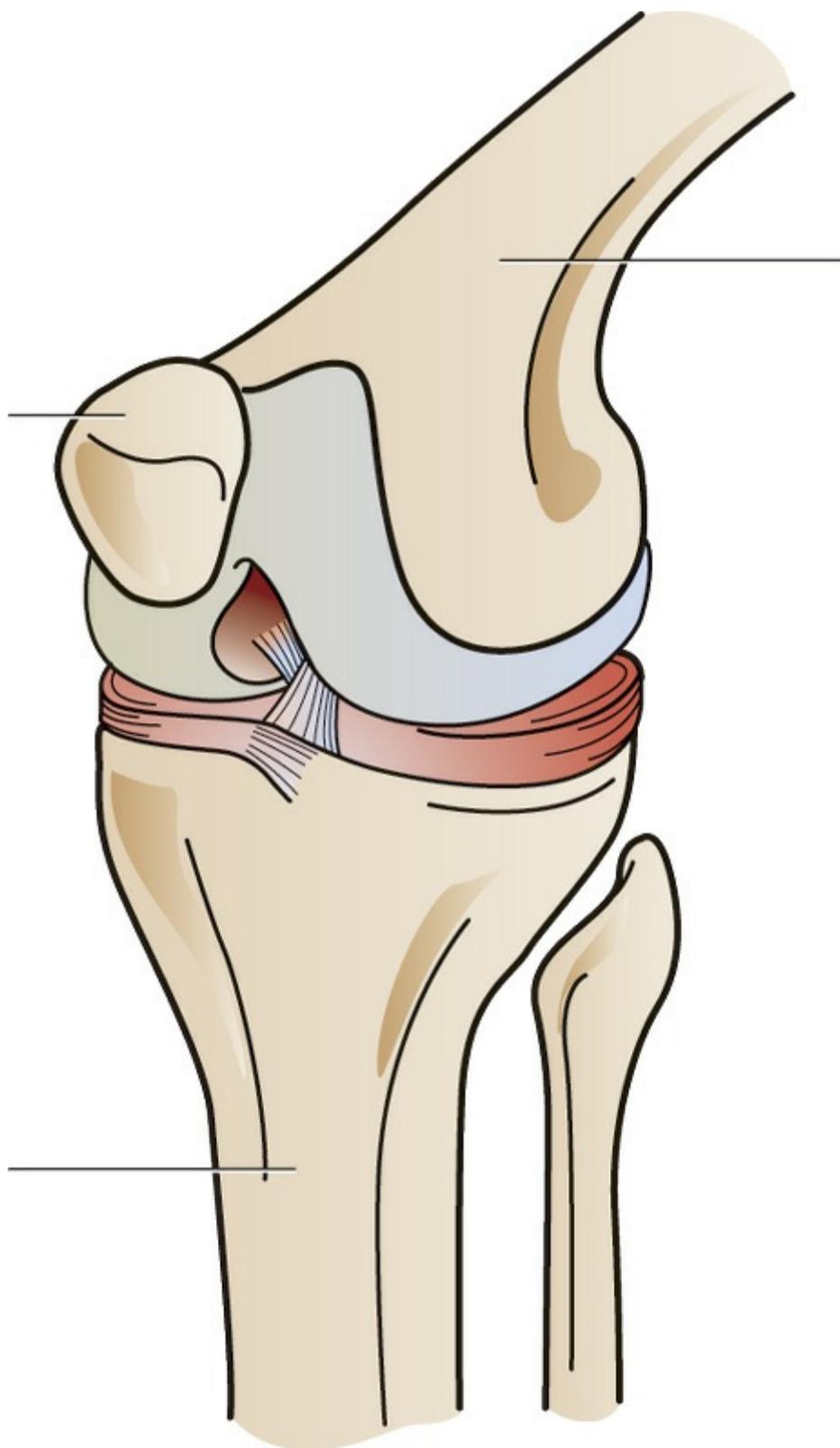
Cabeza, Trocánter mayor, Cuello, Trocánter menor, Cuerpo, Epicóndilo medial, Cóndilo medial, Epicóndilo lateral, Cóndilo lateral



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Fémur, Tibia, Rótula



Búsqueda de palabras

Abajo hay 15 palabras que el lector habrá visto en este capítulo. ¿Puede encontrarlas todas?

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| O | P | C | O | T | S | A | L | B | O | E | T | S | O | E | J |
| T | C | O | S | T | I | L | L | A | V | R | F | I | T | S | I |
| E | U | T | D | I | O | M | H | T | E | O | P | R | I | T | A |
| L | B | A | K | L | U | C | O | H | U | E | S | O | O | E | R |
| E | I | L | I | N | S | Y | S | R | S | C | T | T | D | R | U |
| U | T | F | S | E | D | I | O | M | T | E | O | U | S | N | T |
| Q | O | E | P | I | F | I | S | A | R | I | O | L | N | O | U |
| S | T | I | B | I | A | B | M | L | O | M | A | A | E | N | S |
| E | O | S | T | E | O | C | L | A | S | T | O | D | I | A | O |

Osteoblasto, Vértebras, Esqueleto, Esternón, Costilla, Epifisario, Cúbito, Osteoclasto, Rótula, Sutura, Óseo, Hueso, Etmoides, Tibia

Llene los espacios

El _____ es el hueso _____ y _____ del _____. La cabeza del húmero es _____ y se _____ con el resto del hueso mediante el _____ anatómico. El aspecto superior del hueso tiene dos prominencias, los tubérculos _____ y _____. El cúbito es _____ que el radio. Los huesos de la muñeca se denominan _____; están dispuestos en _____ filas de cuatro huesos cada una. Las palmas de las manos están formadas por los _____ huesos _____. Éstos son huesos _____ pequeños; cada uno tiene una _____ y una _____. El pulgar tiene sólo una falange _____ y una _____.

carpianos, distal, cinco, mayor, cabeza, húmero, articula, más grande, menor, largos, más largo, más largo, metatarsianos, cuello, proximal, redondeada, diáfisis, dos, antebrazo

Relacione el hueso con su forma

1. Hueso irregular
2. Hueso largo
3. Hueso plano
4. Hueso corto
 - A. Esternón
 - B. Cigomático
 - C. Metacarpiano
 - D. Hioides
 - E. Tarsiano
 - F. Fémur
 - G. Etmoides
 - H. Omóplato

Para profundizar

1. ¿Por qué los huesos sanos requieren ejercicio?
2. Describa la composición del hueso.
3. ¿Cómo ayuda el esqueleto a mantener la homeostasis?
4. ¿Cómo trabajan juntos osteoblastos y osteoclastos en la remodelación del hueso?
5. ¿Qué ocurre con los huesos cuando la persona envejece?
6. ¿Qué es el líquido sinovial?
7. Describa la cicatrización que ocurre después de una fractura.
8. Analice la osificación intramembranosa.
9. ¿Qué factores son esenciales para la remodelación del hueso?
10. ¿En qué parte del cuerpo se encuentran los dos huesos sesamoideos y cómo se llaman?

Afecciones

A continuación se presenta una lista de afecciones que se relacionan con el esqueleto. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada una de ellas. Puede basarse en libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que el lector trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Fractura del cuello del fémur

Artrosis

Osteoporosis

Gota

Osteomielitis

Osteosarcoma



Capítulo 6

Sistema muscular

Janet G Migliozi

Ponga a prueba sus conocimientos previos

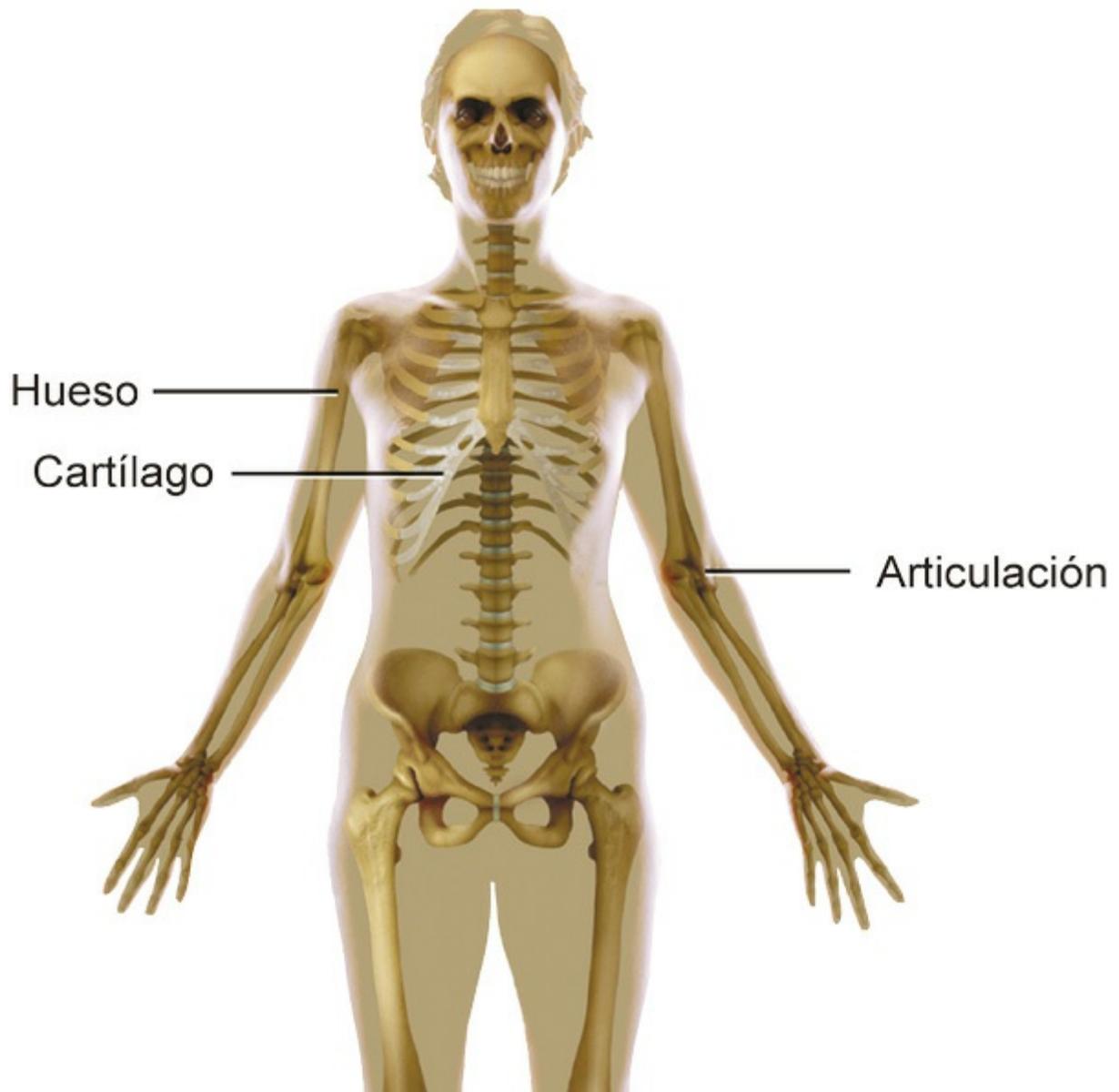
- Enumere los cuatro tipos principales de tejidos corporales
- ¿Cuáles son las principales funciones del tejido epitelial?
- Nombre los cuatro tipos de tejido conjuntivo
- ¿Cuáles tipos de músculo son involuntarios?
- ¿Cuáles son los principales pasos de la reparación tisular?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir las características del tejido epitelial
- Enumerar las clasificaciones del tejido epitelial
- Exponer las funciones del tejido conjuntivo
- Enumerar las clasificaciones del tejido conjuntivo
- Describir el proceso de la reparación tisular

Mapa del cuerpo humano



Introducción

Todo el funcionamiento físico del organismo implica actividad muscular, y dado que los músculos son los encargados de todo el movimiento corporal, puede considerárseles la “maquinaria” del cuerpo (Marieb, 2013). En este capítulo se analiza la estructura y el funcionamiento del sistema muscular (musculatura).

Tipos de tejido muscular

El cuerpo contiene tres tipos de tejido muscular: liso, cardíaco y esquelético. En el cuadro 6-1 se presenta un resumen de los diferentes tipos de tejido muscular.

Cuadro 6-1. Diferentes tipos de tejido muscular

| Músculo esquelético | Músculo liso | Músculo cardíaco |
|---|---|---------------------------------------|
| Unido a huesos o a la piel (sólo músculos faciales) | Presente en las paredes de órganos viscerales huecos y vasos sanguíneos | Localizado en las paredes del corazón |
| Células cilíndricas largas individuales | Células cilíndricas delgadas individuales | Células en cadenas ramificadas |
| Células multinucleadas estriadas | Células uninucleadas no estriadas | Células uninucleadas estriadas |
| Control voluntario | Control involuntario | Control involuntario |

Músculo liso o visceral

El músculo liso o visceral se localiza en las paredes de los órganos internos huecos y en los vasos sanguíneos; por ejemplo intestino delgado, vasos sanguíneos (arterias, arteriolas, vénulas y venas), bronquiolos del aparato respiratorio, vejiga urinaria y uréteres, útero y trompas de Falopio, (único órgano hueco que no presenta musculatura lisa es el corazón). Las células (fibras) de músculo liso tienen un solo núcleo, suelen estar dispuestas en líneas paralelas, y no son estriadas. Los músculos lisos son involuntarios, no se fatigan con facilidad y son controlados por el bulbo raquídeo (en el encéfalo), que se encarga de la acción involuntaria en todo el organismo. El músculo liso se considera con más detalle en el capítulo 9.

Músculo cardíaco

El músculo cardíaco, presente sólo en el corazón, es otra forma de músculo involuntario y constituye las paredes cardíacas. Su principal función es impulsar la sangre para que circule haciendo que la aurícula y los ventrículos se contraigan. Los músculos cardíacos también tienen un solo núcleo, y son estriados, ramificados y tubulares. Se les analiza con mayor detalle en el capítulo 8.

Músculo esquelético

Los músculos esqueléticos constituyen la musculatura del cuerpo (formada por más de 600 músculos) y representan 40 a 50% del peso corporal de un adulto.

Los músculos esqueléticos son los únicos músculos voluntarios del cuerpo (es decir, son controlados de manera consciente) y son los que mueven los huesos y generan el movimiento externo. El músculo esquelético también se denomina estriado o bandeado debido a los patrones en estrías o bandas que presentan sus células vistas al microscopio.

El resto de este capítulo se concentra en el músculo esquelético, ya que los músculos liso y cardíaco se abordan con más detalle en otros capítulos.

Funciones de la musculatura

La musculatura tiene cuatro importantes funciones en el organismo:

- Mantiene la postura.
- Produce movimiento.
- Estabiliza las articulaciones.
- Protege.
- Genera calor.

Mantenimiento de la postura corporal

Pese a la tracción continua de la gravedad, el organismo es capaz de mantenerse erguido o sentado gracias a los ajustes finos que los músculos esqueléticos realizan de manera continua.

Producción de movimiento

La capacidad del cuerpo de movilizarse es resultado de la actividad del músculo esquelético y la contracción muscular, ya que cuando los músculos se contraen tiran de los tendones y huesos del esqueleto para producir movimiento.

Estabilización de articulaciones

Los tendones musculares cumplen una función vital para estabilizar y reforzar las articulaciones. Durante el movimiento, los músculos esqueléticos tiran de los huesos que estabilizan las articulaciones del esqueleto.

Protección y control de estructuras y órganos internos

El músculo esquelético tiene un importante cometido en la protección de los órganos internos, ya que los órganos viscerales y los tejidos internos contenidos en la cavidad abdominal son protegidos por capas de tejido esquelético dentro de la pared abdominal y el piso de la cavidad pélvica. De modo similar, los orificios contenidos en los aparatos digestivo y urinario están rodeados por músculo esquelético, lo que permite el control voluntario de la deglución, micción y defecación (Martini y Bartholomew, 2012).

Generación de calor

La generación de calor es vital para mantener la temperatura corporal normal, y los músculos esqueléticos, que representan 40% de la masa corporal, son el tipo muscular principal y responsable de esta función. Durante la contracción muscular, se dispone del adenosin trifosfato (ATP) para liberar la energía necesaria; alrededor de tres cuartas partes de esta energía escapa como calor.

Composición del tejido muscular esquelético

Dado que los músculos contienen otros tipos de tejidos, como vasos sanguíneos y tejidos conjuntivo y nervioso, se les considera órganos (Logenbaker, 2013). Se dice que cada célula del tejido esquelético muscular es una fibra muscular individual; ésta, debido a su gran tamaño, contiene cientos de núcleos (es decir, es multinucleada). Un músculo esquelético consiste de fibras musculares individuales muy distintas de una célula “típica” (no sólo por su tamaño), agrupadas en fascículos y rodeadas por tres capas de tejido conjuntivo.

Anatomía macroscópica de los músculos esqueléticos

El músculo está separado de la piel por la hipodermis, que consiste en tejido adiposo (el cual brinda aislamiento y protege el músculo contra daños físicos) y una banda amplia y densa de tejido conjuntivo llamado aponeurosis, que soporta y rodea el tejido muscular y constituye una vía para los nervios y vasos linfáticos y sanguíneos que entran y salen del músculo. Desde la aponeurosis se extienden tres capas de tejido conjuntivo que también intervienen en el soporte y protección del músculo y son necesarias para asegurar que la fuerza de contracción de cada célula muscular se transmita a los puntos de inserción en el esqueleto (figura 6-1). Estas capas son:

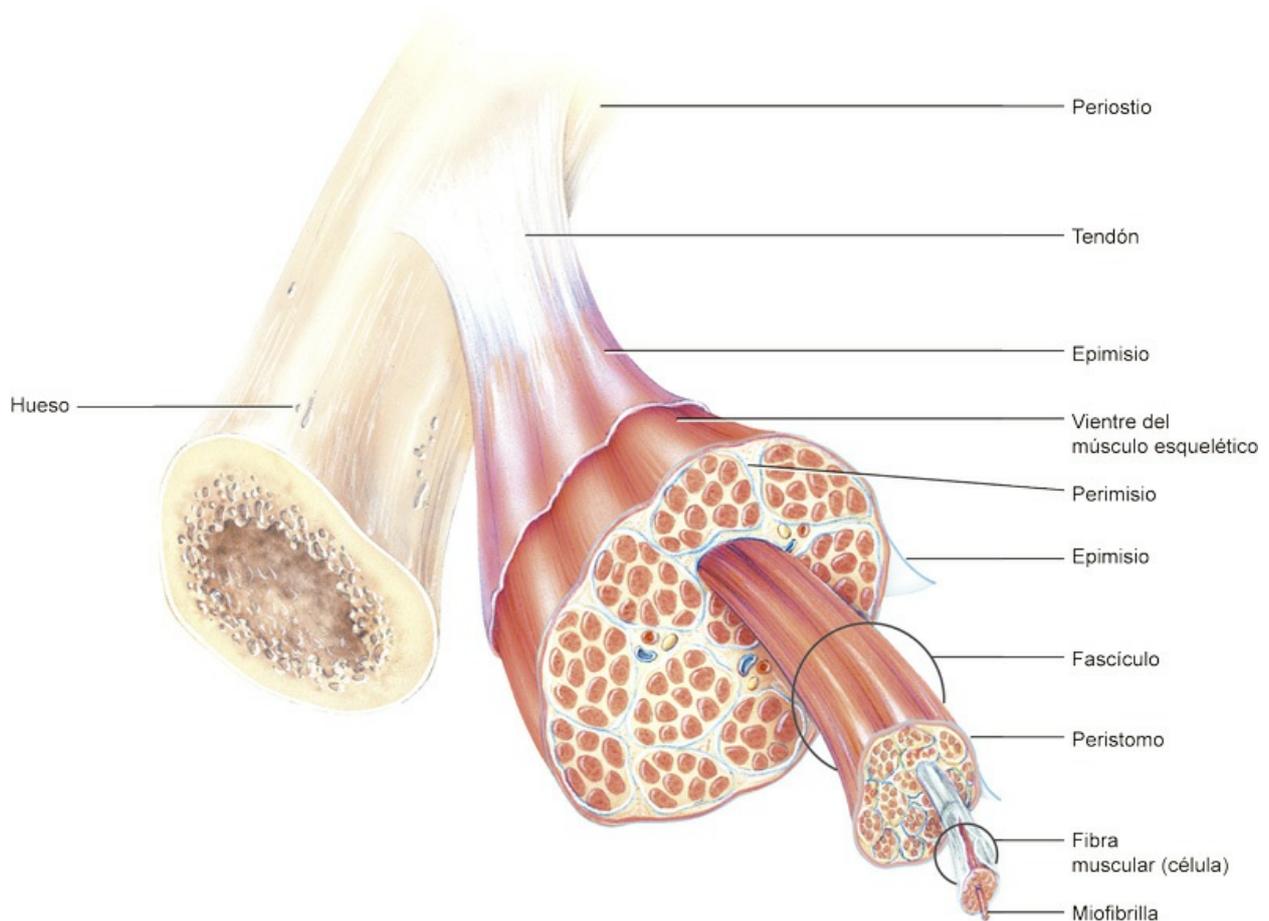


Figura 6-1. Anatomía macroscópica de un músculo esquelético. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- **Epimisio**, que envuelve la totalidad del músculo.
- **Perimisisio**, que rodea haces de fibras musculares llamados fascículos.
- **Endomisio**, que cubre cada célula muscular individual.

Epimisio, perimisisio y endomisio se fusionan en tendones, a manera de cuerdas fuertes, o en aponeurosis laminares que fijan los músculos en forma indirecta a

los huesos, cartílagos o tejido conjuntivo (Marieb, 2013).

Consideraciones clínicas

Inyección intramuscular

Una inyección intramuscular (IM) se administra de manera directa en un músculo seleccionado; si bien hay varios sitios del cuerpo que son adecuados para aplicarlas, los más frecuentes son:

- Músculo deltoides, en el antebrazo.
- Músculo vasto lateral (o externo), que forma parte del grupo muscular cuádriceps del muslo.
- Músculo glúteo medio (sitio ventroglúteo), que corre abajo del glúteo mayor desde el hueso ilíaco hasta el fémur.

Las inyecciones IM se utilizan para suministrar determinados fármacos que, por diversas razones, no pueden administrarse por vía oral, intravenosa o subcutánea. La vía IM permite administrar una gran cantidad (hasta 5 mL) de fármaco a la vez, minimiza la irritación tisular y es más rápida que las inyecciones subcutáneas o intradérmicas.

Microanatomía de una fibra de músculo esquelético

Cuando se examinan al microscopio, las células de músculo esquelético tienen forma cilíndrica, presentan aspecto bandeado distintivo de bandas claras y oscuras alternas, y están dispuestas paralelas entre sí (figura 6-2). En el cuadro 6-2 se resumen los componentes celulares de una fibra muscular.

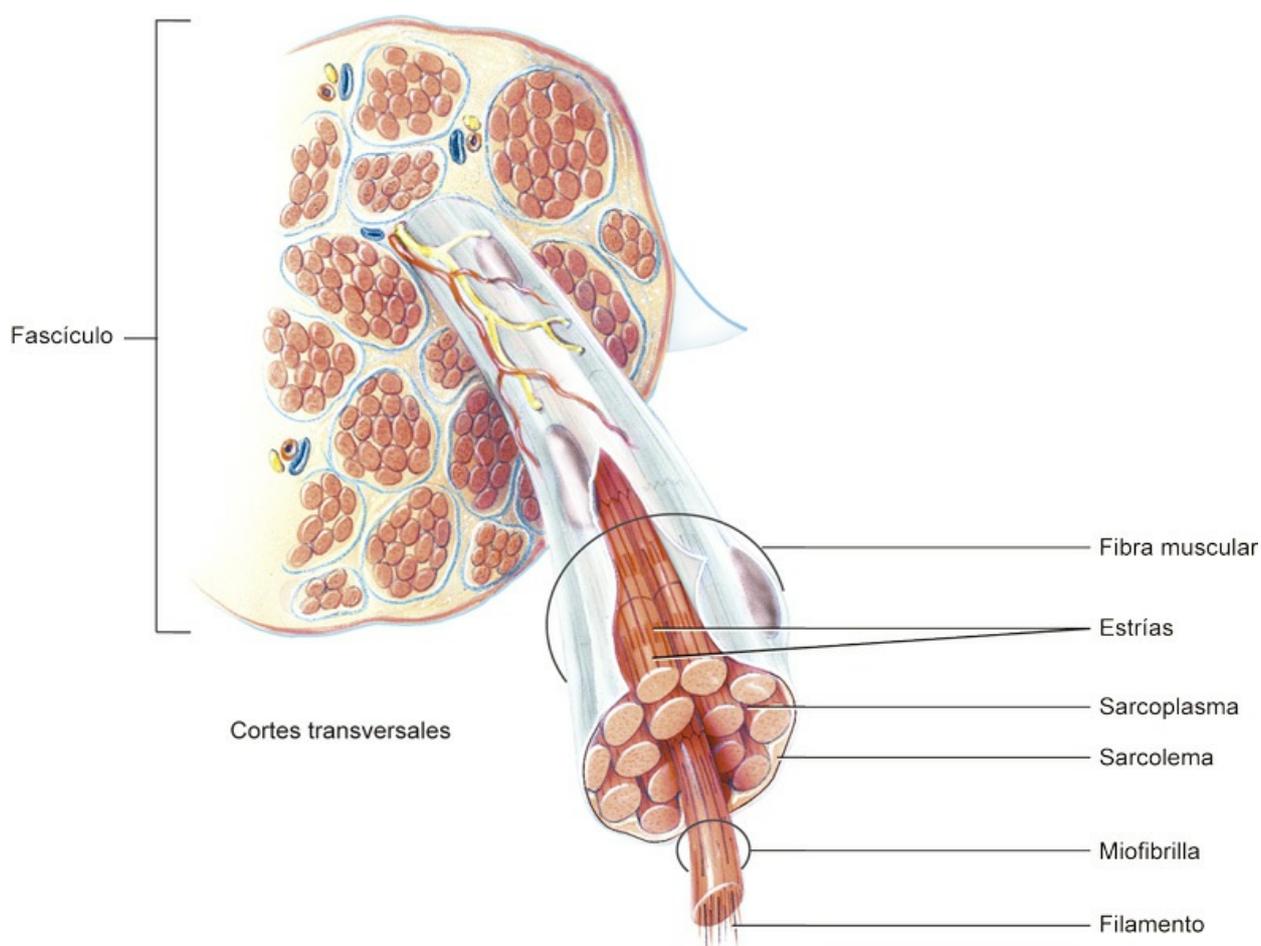


Figura 6-2. Diagrama de una fibra de músculo esquelético.

Cuadro 6-2. Componentes celulares de una fibra muscular

| Nombre | Función |
|--------------|--|
| Sarcolema | Membrana plasmática de una fibra muscular que forma túbulos T |
| Sarcoplasma | Citoplasma de la fibra muscular que contiene miofibrillas |
| Miofibrilla | Consiste de haces de miofilamentos; fundamental en la contracción muscular |
| Miofilamento | Consiste de filamentos gruesos y delgados que dan al tejido muscular su aspecto estriado; participa en la contracción muscular |
| Mioglobina | Pigmento pardo rojizo (da al tejido muscular su color rojo oscuro) que |

| | |
|------------------------|--|
| | almacena oxígeno para la contracción muscular |
| Túbulo T | Estructura tubular llena de líquido que libera calcio del retículo sarcoplásmico |
| Retículo sarcoplásmico | Sito de almacenamiento de iones calcio |

Sarcolema y túbulos transversos

Cada fibra muscular está cubierta por una membrana plasmática llamada sarcolema y estructuras cilíndricas denominadas miofibrillas, suspendidas dentro de la fibra muscular en una matriz que recibe el nombre de sarcoplasma (citoplasma), el cual se extiende a lo largo de toda la fibra muscular. La superficie del sarcolema tiene aberturas dispersas que conducen a una red de estrechos túbulos llamados túbulos transversales o túbulos T, llenos de líquido extracelular y que constituyen conductos a través de la fibra muscular (Martini y Bartholomew, 2012).

Sarcoplasma

El sarcoplasma contiene múltiples mitocondrias, que producen grandes cantidades de ATP durante la contracción muscular (Tortora y Derrickson, 2012), y es aquí donde los túbulos T hacen contacto con una membrana llamada retículo sarcoplásmico (RS). El RS almacena iones calcio (esenciales para la contracción muscular) en estructuras llamadas cisternas y mioglobina (un pigmento pardo rojizo similar a la hemoglobina), que almacena oxígeno hasta que es necesario para generar ATP.

Miofibrillas

Las miofibrillas son estructuras parecidas a hilos, constituidas por haces de miofilamentos, y se encuentran en abundancia en el sarcoplasma. Tienen una función clave en el mecanismo de contracción muscular, y contienen dos tipos de filamentos proteínicos: filamentos gruesos, compuestos de miosina, y filamentos delgados, formados por actina y otras dos proteínas, tropomiosina y troponina. Estos filamentos crean compartimientos conocidos como sarcómeras, que son las unidades funcionales básicas de las fibras de músculo estriado (Tortora y Derrickson, 2012); cada miofibrilla contiene unas 10 000 sarcómeras dispuestas extremo con extremo. Las sarcómeras están separadas entre sí por densas estructuras proteínicas dispuestas en zigzag llamadas discos Z.

Sarcómeras

Entre los filamentos gruesos dentro de la sarcómera hay una zona oscura llamada banda A, en el centro de la cual hay una zona H estrecha. A cada lado de la banda A hay una zona más clara que consiste de filamentos delgados, denominada banda I. Las bandas A e I alternadas dan a los músculos

esqueléticos su aspecto estriado (bandeado).

Aplicación clínica

Distrofia muscular

La distrofia muscular es un término amplio que se aplica a un grupo hereditario de trastornos que destruyen los músculos al hacer que las fibras musculares se degeneren, encojan y finalmente mueran. Las fibras musculares que mueren son sustituidas por grasa y tejido conjuntivo.

La forma más común de esta enfermedad es la distrofia muscular de Duchenne, que se hereda a través de un gen defectuoso portado por la madre, el cual provoca la ausencia de la proteína llamada distrofina, que determina en parte la estructura y función de las fibras musculares. La falta de distrofina causa el escape de calcio hacia las fibras musculares y activa una enzima que hace que la fibra muscular se disuelva.

El trastorno ocurre de manera predominante en varones, y se manifiesta entre los 2 y 6 años de edad. La enfermedad es progresiva, y la mayoría de quienes la sufren quedan postrados en silla de ruedas hacia los 12 años, y no sobreviven a la edad adulta temprana (Marieb, 2013). Si bien el tratamiento con inyecciones de células musculares inmaduras que producen distrofina proporciona cierto alivio (Longenbaker, 2013), no hay cura conocida.

Tipos de fibras musculares

En los músculos esqueléticos hay tres tipos de fibras musculares, y se ubican en proporciones variables en el cuerpo:

- **Fibras oxidativas lentas:** pequeñas fibras de color rojo oscuro (debido a que contienen grandes cantidades de mioglobina) que generan ATP por respiración aeróbica, constituyen alrededor del 50% del músculo esquelético y son capaces de experimentar contracciones prolongadas lentas; no se fatigan con facilidad.
- **Fibras oxidativas–glucolíticas rápidas:** fibras de tamaño medio y color rojo oscuro que también generan ATP por respiración aeróbica, pero debido a su alto contenido de glucógeno también son capaces de generar ATP por glucólisis anaeróbica. Estas fibras pueden contraerse y relajarse más rápido que las fibras oxidativas lentas.
- **Fibras glucolíticas rápidas:** fibras grandes blancas (bajo contenido de mioglobina) que generan ATP, sobre todo por glucólisis anaeróbica, y producen las contracciones musculares más rápidas y potentes, aunque se fatigan con facilidad.

Suministro sanguíneo

Los músculos esqueléticos tienen un suministro sanguíneo muy extenso y reciben un total de 1 L de sangre cada minuto, lo que equivale al 20% del gasto cardiaco en reposo. Esto se eleva a 15 a 20 L min durante el ejercicio intenso. Como regla general, cada músculo esquelético es servido por una arteria y una o dos venas, y cada fibra muscular está en estrecho contacto con una red de capilares microscópicos dentro del endomisio.

Aplicación clínica

Síndrome compartimental agudo

En las extremidades, las conexiones entre las fibras musculares y el esqueleto son robustas; en consecuencia, los músculos suelen estar aislados en densos compartimientos a base de colágeno. Es en estos compartimientos donde entran los vasos sanguíneos y nervios que sirven a un músculo en específico.

Cuando una extremidad se lesiona, si el edema que suele resultar se forma dentro de un compartimiento con poco espacio para la expansión tisular, la presión intersticial se eleva. Dado que la presión dentro del compartimiento es mayor que dentro de los capilares, el flujo sanguíneo –y por tanto el riego– se hace más lento hasta que al final cesa (Harris y Hobson, 2015). Esto puede ocasionar isquemia tisular y muerte del músculo, con la posibilidad de que el contenido de las fibras musculares afectadas pase al torrente sanguíneo (rabdomiólisis). Entre las causas comunes de síndrome compartimental están las fracturas de extremidades, lesiones por aplastamiento, afección vascular y sobredosis de heroína o cocaína.

Contracción y relajación del músculo esquelético

La capacidad del músculo esquelético de contraerse es controlada por el sistema nervioso, y cada fibra muscular está a cargo de una neurona motora (motoneurona), la cual puede estimular unas pocas células musculares o varios cientos de ellas, según el músculo específico y el trabajo que realice (Marieb, 2013). El músculo esquelético se contrae en respuesta a la estimulación de una señal eléctrica (potencial de acción muscular) suministrada por la motoneurona, la cual se encuentra a la mitad de la longitud de la célula muscular, donde termina en la unión neuromuscular. Aquí, la membrana de la fibra muscular se especializa para formar una placa motora terminal.

Aunque en condiciones normales una fibra muscular tiene una sola placa motora terminal, los axones ramificados de la motoneurona (figura 6-3) implican que un axón de motoneurona pueda conectar y controlar muchas fibras musculares. La motoneurona y las fibras musculares que controla constituyen una unidad motora.

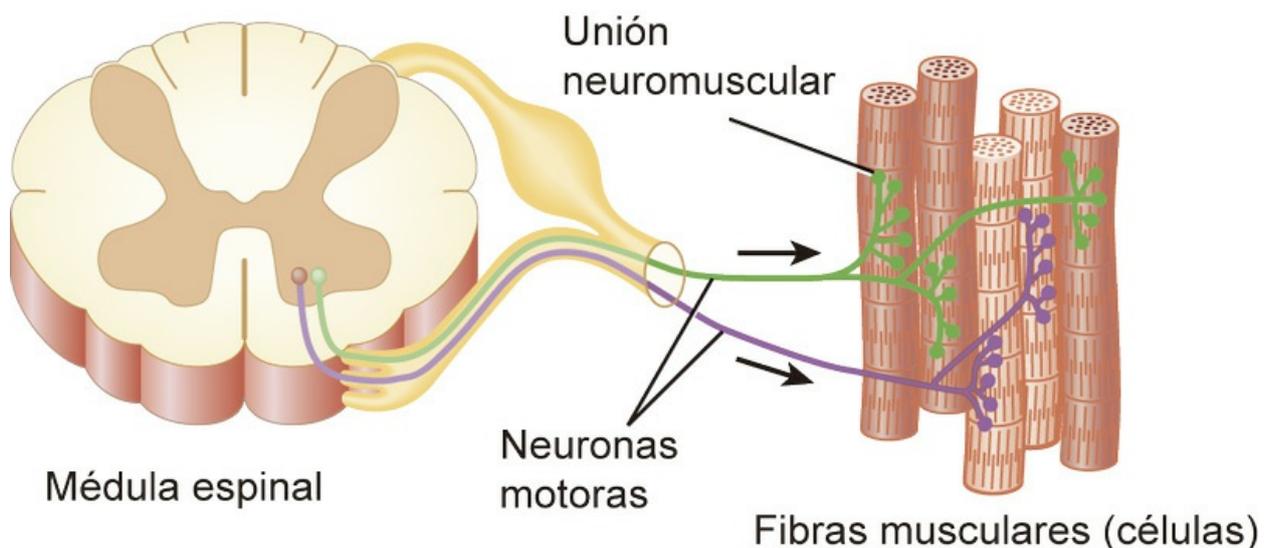


Figura 6-3. Unidad motora. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cuando un impulso nervioso llega a las terminales del axón, el neurotransmisor acetilcolina (ACh) que estimula al músculo esquelético se libera en la hendidura sináptica, un pequeño hueco que separa la membrana de la célula nerviosa de la membrana de la fibra muscular (Shier *et al.*, 2012). La hendidura sináptica y la placa motora terminal contienen acetilcolinesterasa (AChE), la cual degrada moléculas de ACh. La liberación de ACh provoca cambios en el sarcolema que inducen la contracción de la fibra muscular.

Botulismo

El botulismo puede ocurrir por el consumo de alimentos contaminados o ahumados y es causado por esporas de la bacteria *Clostridium botulinum*, un habitante común del suelo y el agua. Una de las toxinas producidas por esta bacteria impide la liberación de ACh en las terminales sinápticas de las células musculares y evita que se forme un potencial de acción en el sarcolema. Si no se trata con rapidez puede ocasionar parálisis muscular que puede ser mortal. El tratamiento consiste en una antitoxina y ventilación mecánica si está afectado el aparato respiratorio (Public Health England, 2014).

Las fibras de músculo esquelético son estimuladas por neuronas que controlan la producción de un potencial de acción (impulso eléctrico) en el sarcolema por:

- **La liberación de Ach:** un potencial de acción viaja a lo largo de una motoneurona hasta que llega a la terminal sináptica, donde vesículas contenidas en la terminal sináptica liberan ACh en la hendidura sináptica entre la motoneurona y la placa motora terminal.
- **La fijación de ACh en la placa motora terminal:** las moléculas de ACh se difunden a través de la hendidura sináptica y se unen a receptores de ACh en el sarcolema. Esto cambia la permeabilidad de la membrana y permite la entrada de iones sodio (Na^+) en el sarcoplasma, lo cual induce la producción de un potencial de acción muscular en el sarcolema.
- **La conducción de potenciales de acción por el sarcolema:** el potencial de acción se propaga en toda la superficie del sarcolema y viaja por los túbulos transversos hasta las cisternas que rodean las sarcómeras de la fibra muscular. Como resultado del desplazamiento del potencial de acción, las cisternas liberan cantidades significativas de iones calcio (Ca^{2+}), lo cual ocasiona el inicio de una contracción muscular. En condiciones normales cada impulso nervioso da por resultado un potencial de acción muscular, y las etapas 2 y 3 se repiten si otro impulso nervioso libera más ACh.
- **La relajación muscular:** la generación de potenciales de acción cesa cuando el ACh es degradado por **AChE** y la concentración de iones calcio en el sarcoplasma declina. Una vez que los iones calcio vuelven a los niveles de reposo normales, la contracción muscular cesa y ocurre la relajación muscular.

En la figura 6-4 se resumen los pasos implicados en la contracción y relajación del músculo esquelético.

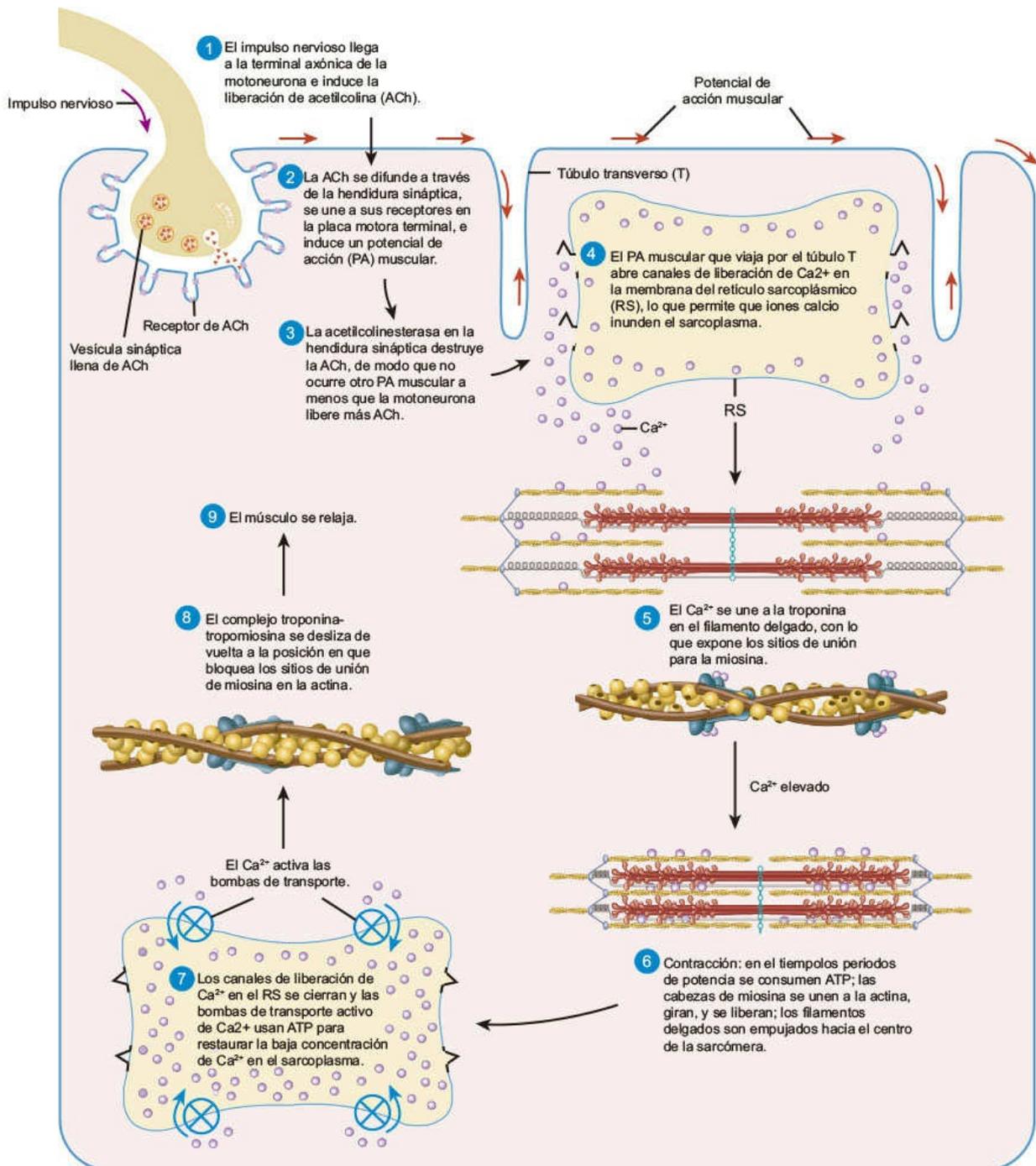


Figura 6-4. Resumen de la contracción y relajación musculares. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Aplicación clínica

La piridostigmina es un anticolinesterásico o inhibidor de AChE, y se usa sobre todo para intensificar la transmisión neuromuscular y mejorar la fuerza de los músculos voluntarios e involuntarios en pacientes con miastenia grave. Al inhibir la AChE, los anticolinesterásicos elevan la concentración de ACh en la unión neuromuscular. Al hacerlo prolongan la acción de la AChE (BNF, 2014).

Precauciones y contraindicaciones

El fármaco debe administrarse con cautela en pacientes con asma, cardiopatía, epilepsia,

Parkinsonismo, enfermedad tiroidea o úlcera péptica. Los inhibidores de la AChE no deben administrarse a personas con obstrucción intestinal o urinaria.

Entre los efectos adversos de la piridostigmina se incluyen náusea, vómito, cólicos abdominales, diarrea, salivación excesiva, sudación, bradicardia y broncoespasmo. Estos efectos pueden minimizarse mediante ajustes precisos de la dosis.

Fuentes de energía para la contracción muscular

Las fibras musculares requieren una fuente de energía para contraerse cuando se necesite. Esta energía se aporta al principio en la forma de ATP, que se almacena en la fibra muscular. Sin embargo, dado que ésta sólo contiene cantidades pequeñas de ATP, éste se agota con rapidez cuando el músculo trabaja y se requiere un aporte continuo para la actividad muscular. Así, los músculos activos necesitan vías adicionales para producir ATP. Estas vías son:

- **Fosfato de creatina:** éste se descompone en creatina, fosfato y energía, que se usa para sintetizar más ATP. La mayoría de la creatina formada se usa para volver a sintetizar fosfato de creatina, y la que no se usa se convierte en el producto de desecho creatinina, que es excretada por los riñones.
- **Respiración anaeróbica:** el glucógeno es la fuente de energía más abundante en las fibras musculares, y se degrada a glucosa cuando se requiere energía para la contracción muscular. En la primera etapa la glucosa se descompone en ácido pirúvico sin necesidad de oxígeno –un mecanismo llamado glucólisis–, y las pequeñas cantidades de energía que se generan en este proceso son capturadas por los enlaces de las moléculas de ATP.

Durante la actividad muscular intensa o cuando el suministro de glucosa y oxígeno es insuficiente (en forma temporal) para satisfacer las necesidades del músculo, el ácido pirúvico generado durante la glucólisis se convierte en ácido láctico. Esta vía es mucho más rápida que la respiración aeróbica y aporta ATP suficiente para ráfagas cortas de actividad intensa.

Respiración aeróbica

Alrededor del 95% del ATP usado en reposo y durante el ejercicio moderado proviene de la respiración aeróbica, la cual implica una serie de vías metabólicas que utilizan oxígeno, llamadas fosforilación oxidativa (Marieb, 2013). Para liberar energía a partir de la glucosa se requiere oxígeno; los músculos lo reciben de la hemoglobina presente en los eritrocitos o de la mioglobina, una proteína que almacena algo de oxígeno en las células musculares. Durante la respiración aeróbica, la glucosa se descompone en dióxido de carbono y agua. La energía producida por esta descomposición es capturada por los enlaces de las moléculas de ATP. Si bien se obtiene un abundante suministro de ATP por esta vía, es un proceso lento que requiere un aporte continuo de oxígeno y combustible a los músculos.

En la figura 6-5 se presenta un panorama general de las diferentes fuentes de ATP disponibles para los músculos.

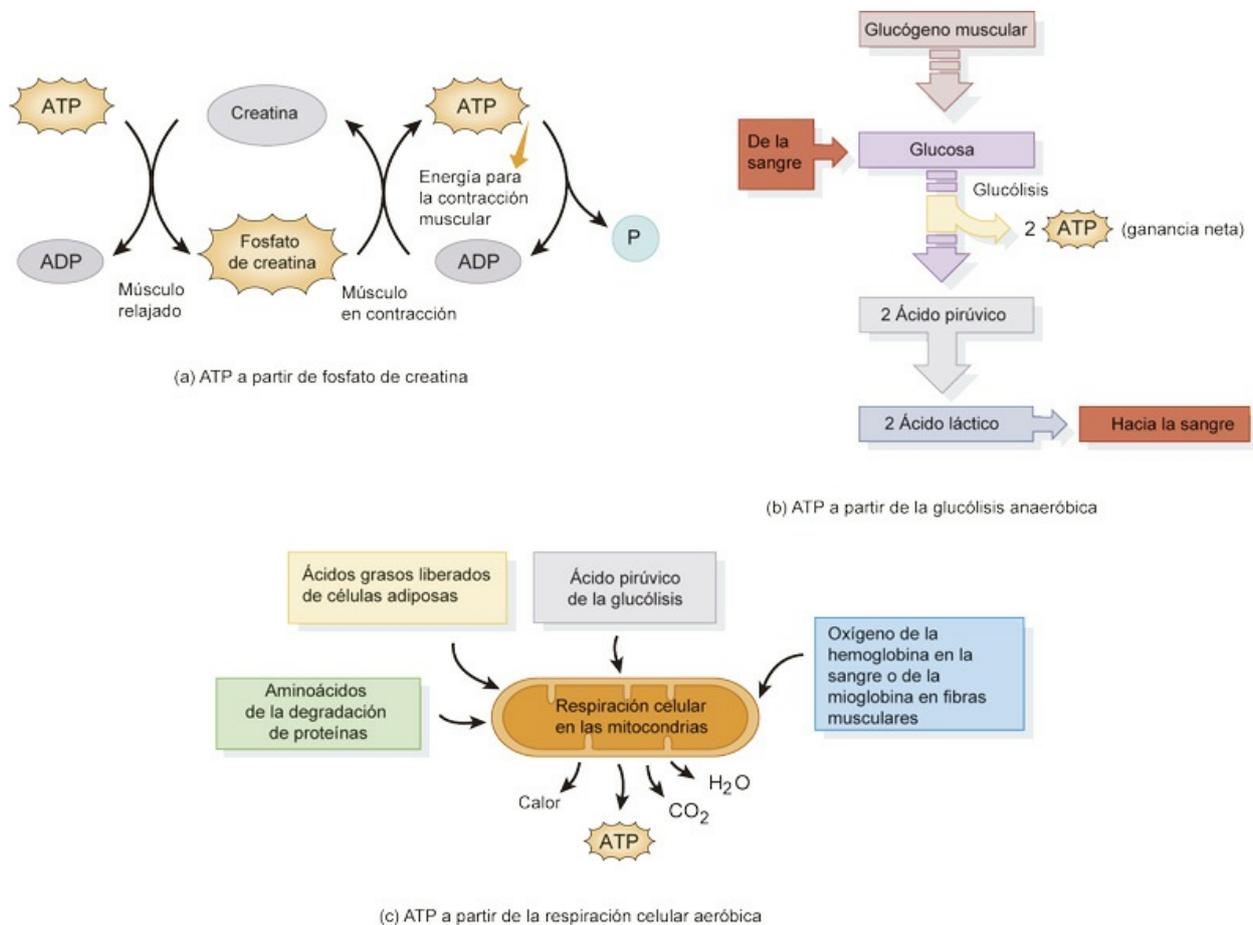


Figura 6-5. (a–c) Fuentes de ATP para la actividad muscular. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Déficit de oxígeno

Cuando el cuerpo realiza actividad moderada o está en reposo, los aparatos circulatorio y respiratorio suelen ser capaces de suministrar suficiente oxígeno a los músculos esqueléticos a fin de alimentar las reacciones aeróbicas de la respiración celular (Shier *et al.*, 2012). Sin embargo, en caso de una actividad más extenuante el músculo depende de la respiración anaeróbica para cubrir sus necesidades de energía, e incurre en un déficit de oxígeno (Longenbaker, 2013), el cual requiere que el cuerpo disponga de ácido láctico y reponga el fosfato de creatina a fin de pagar este déficit.

Administración de medicamentos

Esteroides anabólicos

Los esteroides anabólicos son sustancias sintéticas relacionadas con la testosterona que promueven el crecimiento del músculo esquelético (anabolismo) por incremento de las proteínas dentro de las células, en particular las de músculo estriado, y el desarrollo de los caracteres sexuales masculinos (androgénesis), por ejemplo el crecimiento de cuerdas vocales, testículos (caracteres sexuales primarios) y vello corporal (caracteres sexuales secundarios). Los esteroides anabólicos pueden prescribirse de manera legal para tratar afecciones por deficiencia de hormonas esteroideas, como la demora de la pubertad, y debido a su capacidad de estimular el crecimiento muscular y el apetito, enfermedades que provocan pérdida de masa muscular magra, como el cáncer y el SIDA. Sin embargo, algunos atletas, fisicoculturistas y otros hacen uso indebido de esos fármacos en un intento de mejorar su desempeño o su aspecto físico. Estas personas pueden tomar dosis 10 a 100 veces mayores que las prescritas para tratar trastornos médicos, y el abuso de los esteroides anabólicos puede provocar agresión y otros problemas psiquiátricos, incluidos cambios extremos del estado de ánimo, celos paranoides, síntomas maniacos e ira (“furor destructivo”) que en ocasiones desembocan en violencia. Además, el abuso de esteroides puede causar problemas de salud graves e incluso irreversibles, como un deterioro o insuficiencia renales, daño hepático y problemas cardiovasculares, incluidos hipertrofia cardíaca, hipertensión arterial y cambios en las concentraciones del colesterol sanguíneo, que elevan el riesgo de accidente cerebrovascular y ataque cardíaco (*National Institute on Drug Abuse*, 2012).

Fatiga muscular

Ocurre fatiga muscular cuando una fibra muscular ya no puede contraerse pese a la estimulación neural continua, y se debe al déficit de oxígeno contraído durante la actividad muscular prolongada.

Organización de la musculatura

Cada uno de los músculos esqueléticos del cuerpo está anclado en un mínimo de dos puntos al hueso u otro tejido conjuntivo. Cuando una parte del esqueleto se mueve por contracción muscular, las partes relacionadas deben ser estabilizadas por otros músculos para que el movimiento sea eficaz. El origen de un músculo está en el hueso estacionario y su punto final se ubica en una inserción en el hueso al que mueve (Longenbaker, 2013).

Los músculos pueden recibir su nombre con base en su tamaño, forma, localización y número de orígenes, huesos relacionados o acción de ese músculo. En el cuadro 6-3 se presentan ejemplos de los criterios usados para nombrar los músculos.

Cuadro 6-3. Nombres de músculos

| Carácter/término | Definición | Ejemplo |
|---------------------------|-----------------------|---------------------------|
| Dirección/sentido | | |
| Transversal | A través | Transverso del abdomen |
| Oblicuo | Diagonal | Oblicuo mayor (externo) |
| Recto | Derecho | Recto abdominal |
| Forma | | |
| Trapezio | Trapezoide | Trapezio |
| Deltoides | Triangular | Deltoides |
| Orbicular | Circular | Orbicular de los párpados |
| Romboide | Con forma de diamante | Romboides |
| Plato | Plano | Platisma |
| Tamaño | | |
| Mayor | Más grande | Pectoral mayor |
| Menor | Más pequeño | Pectoral menor |
| Máximo | El más grande | Glúteo mayor |
| Mínimo | El más pequeño | Glúteo menor |
| Largo | El más largo | Aductor largo |
| Latísimo | El más ancho | Dorsal ancho |
| Número de orígenes | | |
| Bíceps | Dos orígenes | Bíceps braquial |
| Tríceps | Tres orígenes | Tríceps braquial |
| Cuádriceps | Cuatro orígenes | Cuádriceps femoral |

Los músculos esqueléticos pueden dividirse en cuatro regiones:

- Músculos de cabeza y cuello
- Músculos de miembros superiores (hombro, brazo, antebrazo)

- Músculos del tronco (tórax y abdomen)
- Músculos de miembros inferiores (cadera, pelvis/muslo, pierna).

Los principales músculos del cuerpo se enumeran por región corporal en los cuadros 6-4 a 6-7 y se ilustran en las figuras 6-6 a 6-9.

Cuadro 6-4. Músculos de cabeza y cuello

| Músculo | Origen | Inserción | Función |
|--------------------------------|---|---|--|
| Frontal | Piel y músculos alrededor del ojo | Piel de párpado y puente de la nariz | Arruga la frente. Eleva los párpados |
| Occipital | Hueso occipital | Galea aponeurótica (aponeurosis epicraneal) | Tensa y retrae la piel cabelluda |
| Orbicular de los párpados | Huesos maxilar y frontal | Piel alrededor del ojo | Cierra el ojo |
| Buccinador | Huesos maxilar y mandibular | Fibras del orbicular de los labios | Comprime los carrillos |
| Cigomático | Hueso cigomático | Orbicular de la boca | Eleva el ángulo de la boca |
| Orbicular de los labios | Músculos alrededor de la boca | Piel del centro de los labios | Cierra y protruye los labios |
| Masetero | Arco cigomático y mandíbula | Superficie lateral de la mandíbula | Cierra la quijada |
| Temporal | Hueso temporal | | Cierra la quijada |
| Pterigoideo (medial y externo) | Huesos esfenoides y maxilar | Superficies medial y anterior de la mandíbula | Eleva y deprime la mandíbula. Mueve la mandíbula de lado a lado |
| Platisma | Aponeurosis en parte superior del tórax | Maxilar inferior | Tira de la boca hacia abajo |
| Estilohioides | Hueso temporal | Hueso hioides | Deprime el hueso hioides y la laringe |
| Milohioideo | Mandíbula | Hueso hioides | Deprime la mandíbula Eleva el piso de la boca |
| Esternocleidomastoideo | Márgenes del esternón y la clavícula | Región mastoidea del cráneo | Flexiona el cuello. Rota la cabeza |

Cuadro 6-5. Músculos del miembro superior (hombro, brazo y mano)

| Músculo | Origen | Inserción | Función |
|---|--|--|---|
| Elevador de la escápula | Apófisis transversas de las vértebras cervicales | Escápula | Eleva el omóplato |
| Trapezio | Hueso occipital y vértebras cervicales y torácicas | Clavícula, columna y escápula | Ayuda a extender la cabeza. Aduce los omóplatos cuando los hombros se encogen o se llevan hacia atrás |
| Músculos del manguito de los rotadores: Supraespinoso Infraespinoso Subescapular Redondo menor Redondo mayor | Superficie posterior arriba y abajo del escápula | Húmero | Grupo de músculos responsables de los movimientos angulares y rotacionales del brazo |
| Pectoral mayor | Clavícula, esternón y costillas superiores | Húmero | Flexiona y aduce el brazo |
| Músculos que mueven el brazo | | | |
| Bíceps braquial | Entre escápula y brazo | Radio | Flexiona y supina el brazo |
| Tríceps braquial | Entre escápula y brazo | Cúbito | Extiende el codo/brazo |
| Braquial | Entre húmero y cúbito | Cúbito | Flexiona el brazo |
| Músculos que mueven mano y dedos | | | |
| Flexor y extensor del carpo | Base de los metacarpianos segundo y tercero | Base de los metacarpianos segundo y tercero | Flexión, extensión, abducción y aducción en la muñeca |
| Flexor y extensor de los dedos | Falanges posterior y distal | Base y superficie de las falanges en los dedos 2 a 5 | Flexión y extensión en articulaciones de los dedos y muñeca |
| Palmar largo | Extremo distal del húmero | Aponeurosis de la palma | Flexiona la muñeca |

Cuadro 6-6. Músculos del tronco (tórax y abdomen)

| Músculo | Origen | Inserción | Función |
|----------------------------|--|---|---|
| Intercostales internos | Borde superior de cada costilla | Borde inferior de la costilla previa | Deprime la caja torácica y se contrae durante la espiración forzada |
| Intercostales externos | Borde inferior de cada costilla | Borde superior de la costilla siguiente | Eleva las costillas durante la inspiración |
| Diafragma | Costillas 4 a 10, vértebras lumbares | Tendón cerca del centro del diafragma | Se contrae para permitir la inhalación Se relaja para permitir la exhalación |
| Oblicuos interno y externo | Entre las costillas inferiores y la cintura pélvica | Costillas inferiores, cresta ilíaca y cresta púbica | Comprime la cavidad abdominal y protege y soporta los órganos abdominales. Rotación del tronco |
| Transverso abdominal | Costillas inferiores, cresta ilíaca y ligamento inguinal | Se extiende en forma horizontal a través del abdomen, del esternón a la cresta púbica | Comprime la cavidad abdominal, protege y soporta los órganos abdominales. Rotación del tronco |
| Recto abdominal | Cresta del hueso púbico y sínfisis del pubis | Esternón y costillas | Comprime la cavidad abdominal, protege y soporta los órganos abdominales. Ayuda a la flexión y rotación de la columna lumbar |

Cuadro 6-7. Músculos del miembro inferior (cadera, pelvis/muslo y pierna)

| Músculo | Origen | Inserción | Función |
|----------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|
| Psoas mayor | Vértebras lumbares | Fémur | Flexiona el muslo |
| Glúteo mayor | Sacro, cóccix y superficie del hueso ilíaco | Fémur y aponeurosis del muslo | Extiende el muslo en la cadera |
| Glúteo medio y menor | Superficie del hueso ilíaco | Fémur | Abduce y rota el muslo |

| | | | |
|---|--|---|---|
| Grupo aductor | Hueso púbico y tuberosidad isquiática | Superficie posterior del fémur | Aduce, flexiona, extiende y rota el muslo |
| Grupo del cuádriceps femoral <ul style="list-style-type: none"> • Recto femoral • Vasto lateral • Vasto medial • Vasto intermedio • Sartorio | Hueso ilíaco, acetábulo y fémur | Rótula Tibia | Extiende la pierna en la rodilla Flexiona, abduce y rota la pierna para permitir cruzar las piernas |
| Músculos isquiotibiales <ul style="list-style-type: none"> • Bíceps femoral • Semitendinoso • Semimembranoso | Fémur, tuberosidad isquiática, espina ilíaca | Tibia y cabeza del peroné | Flexiona y rota la pierna, abduce, rota y extiende el muslo |
| Compartimiento posterior <ul style="list-style-type: none"> • Gastrocnemio • Sóleo • Tibial posterior | Fémur Peroné y tibia Tibia y peroné | Calcáneo (por medio del tendón de Aquiles) Segundo, tercero y cuarto metatarsianos | Flexiona pie y pierna en la articulación de la rodilla Flexiona el pie Flexiona e invierte el pie |
| Compartimiento anterior <ul style="list-style-type: none"> • Tibial anterior • Extensor largo de los dedos | Tibia Tibia y peroné | Primer metatarsiano Falanges media y distal de cada dedo | Dorsiflexiona e invierte el pie Dorsiflexiona y evierte el pie, extiende los dedos |
| Compartimiento lateral <ul style="list-style-type: none"> • Peroneo largo | Peroné y tibia | Primer metatarsiano | Flexiona y evierte el pie |

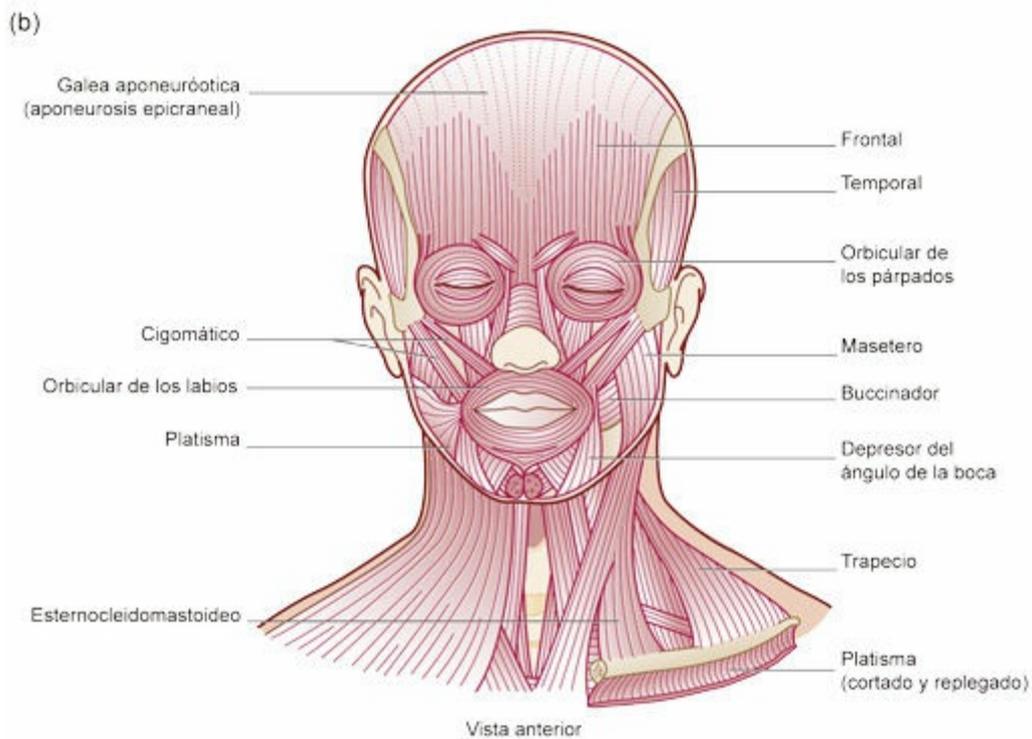
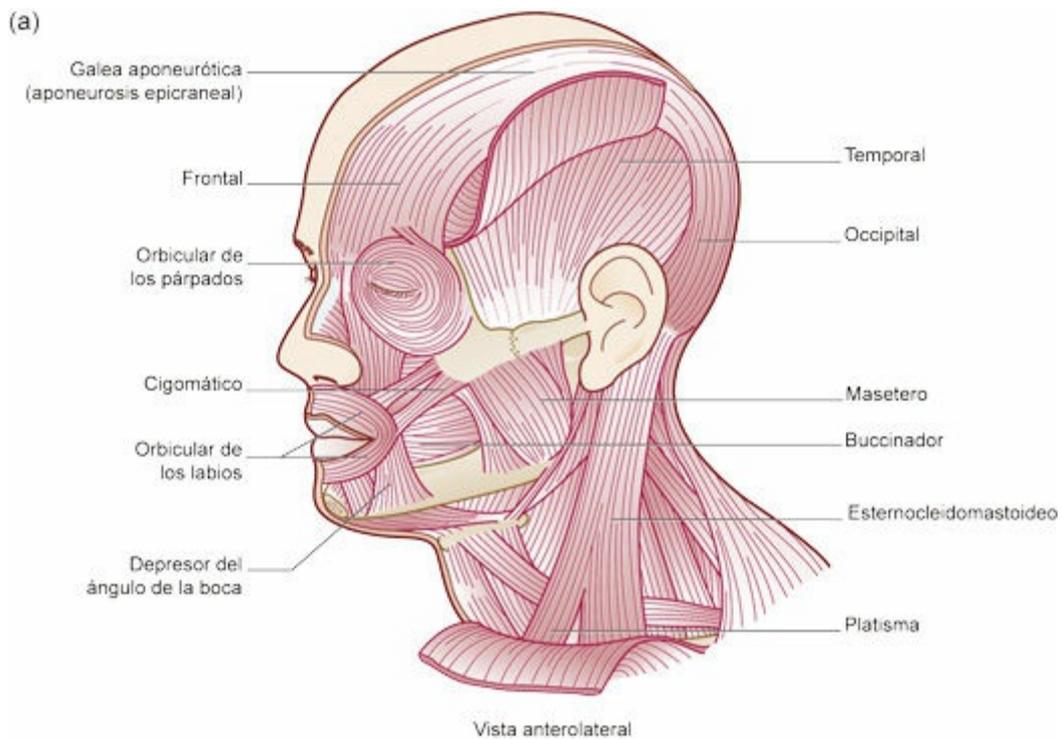
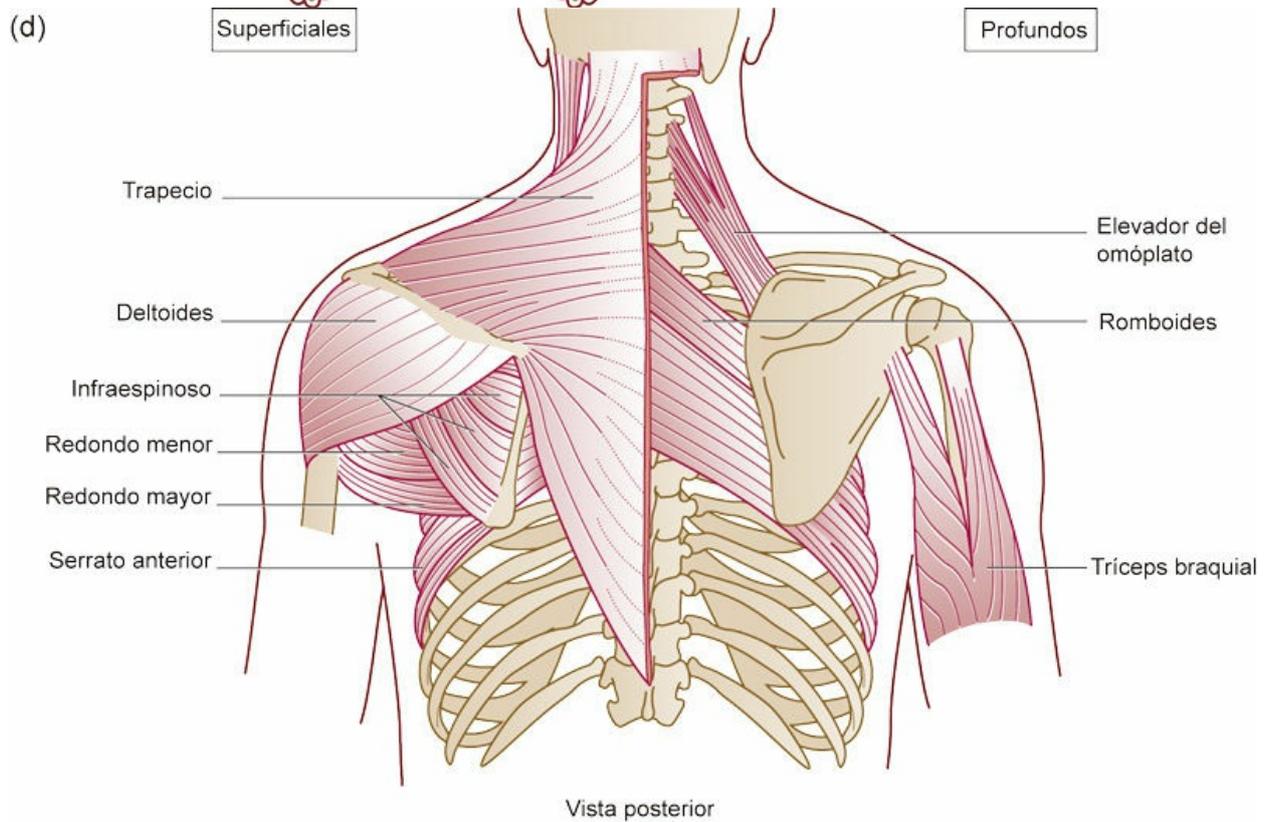
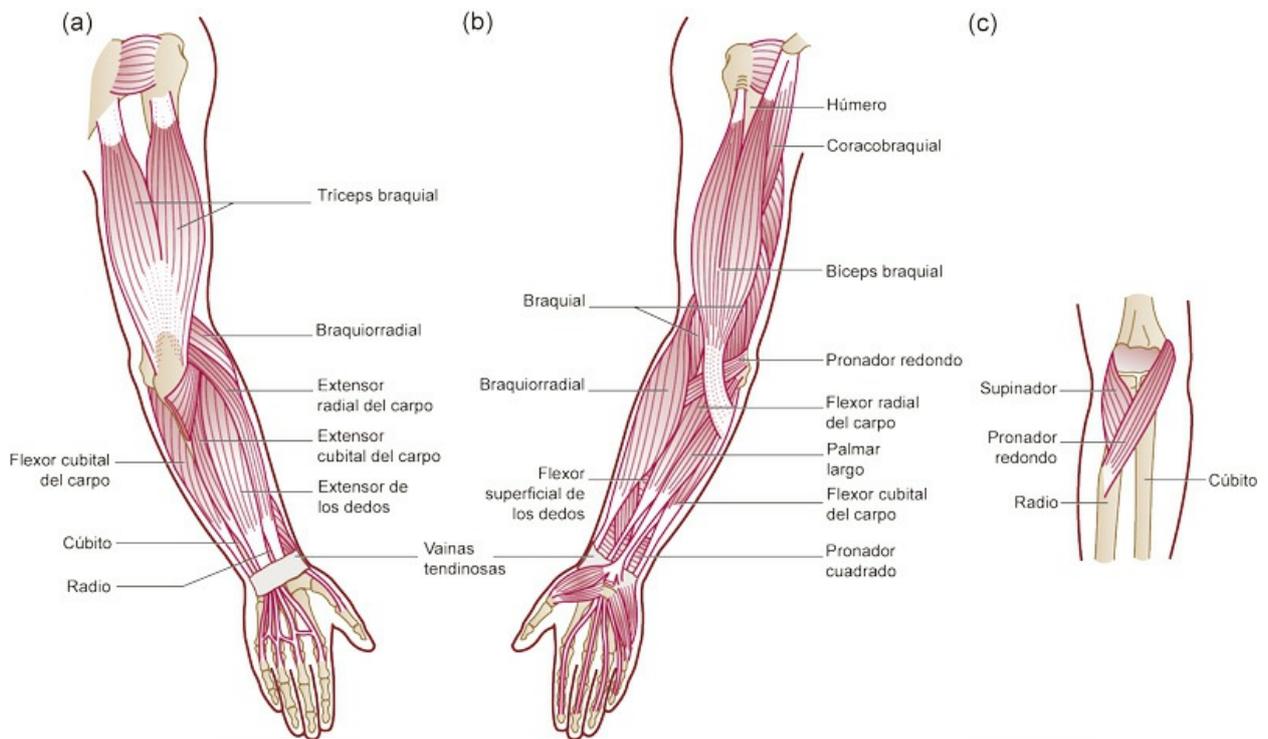
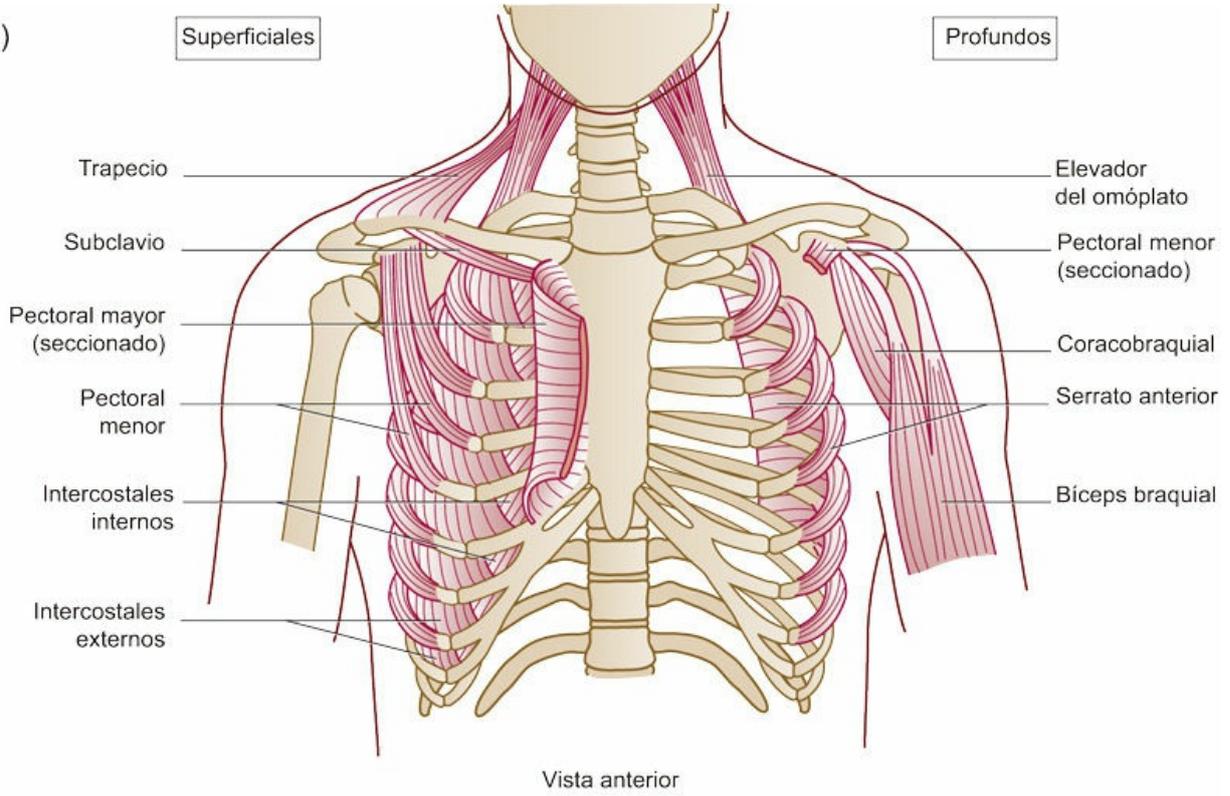


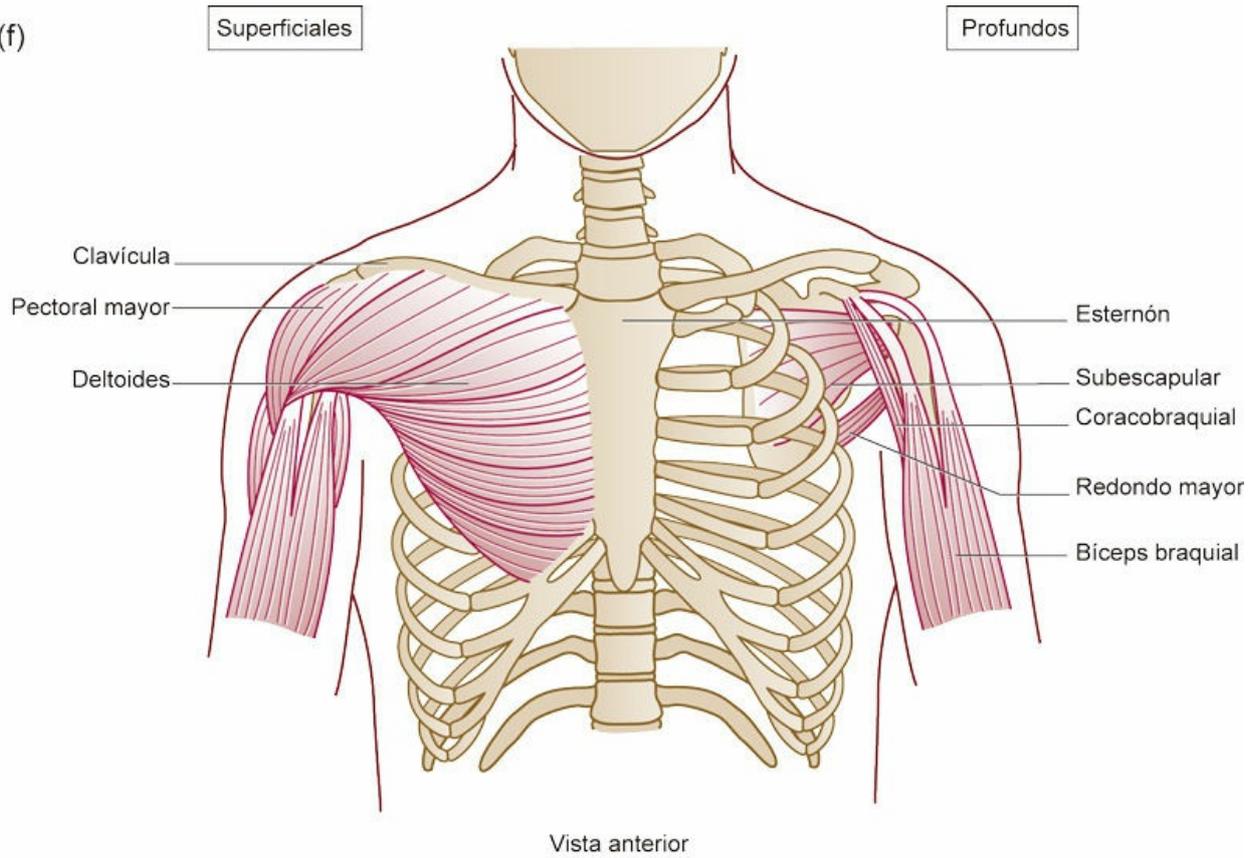
Figura 6-6. (a, b) Músculos de cabeza y cuello.



(e)



(f)



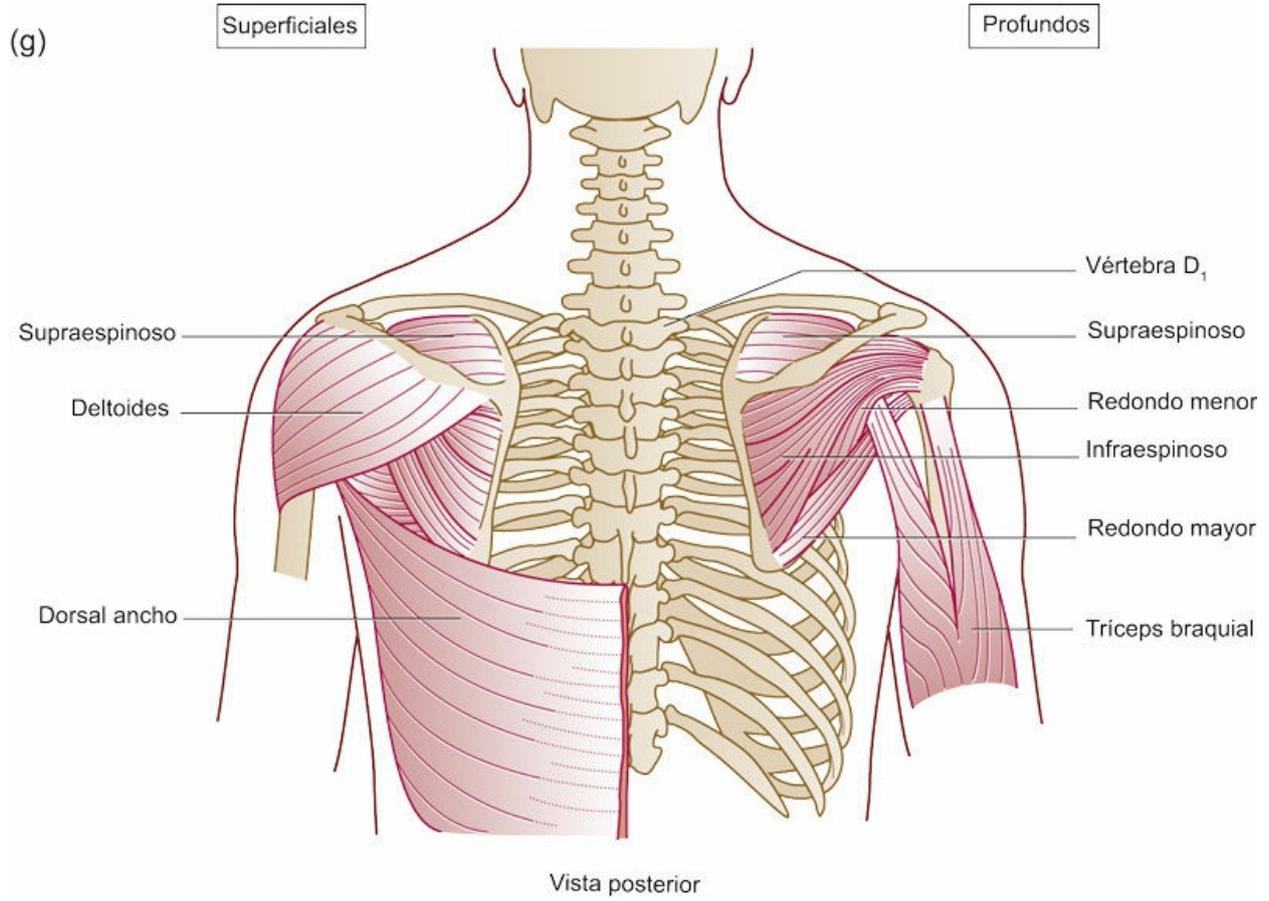


Figura 6-7. (a–g) Músculos del miembro superior (hombro, brazo y mano).

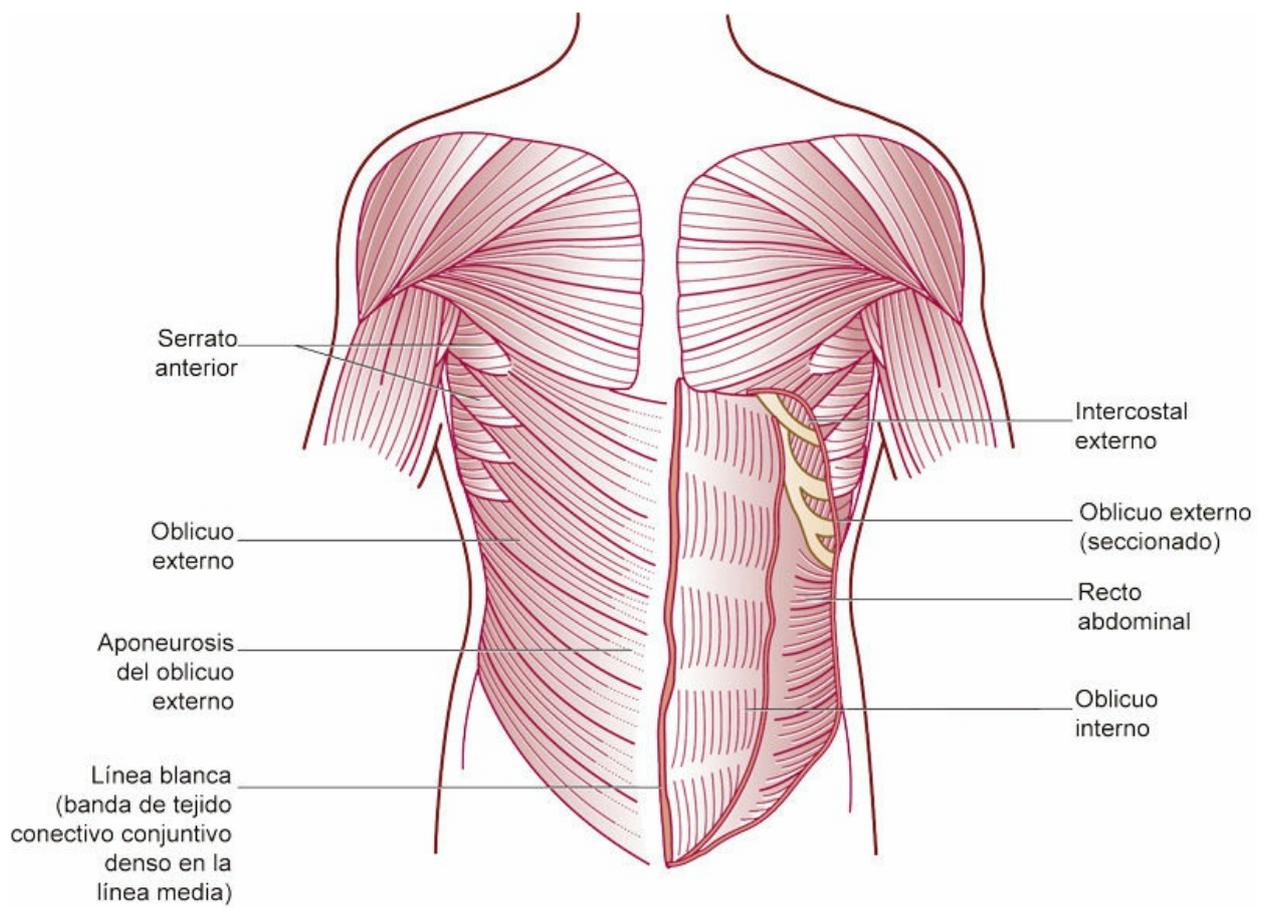
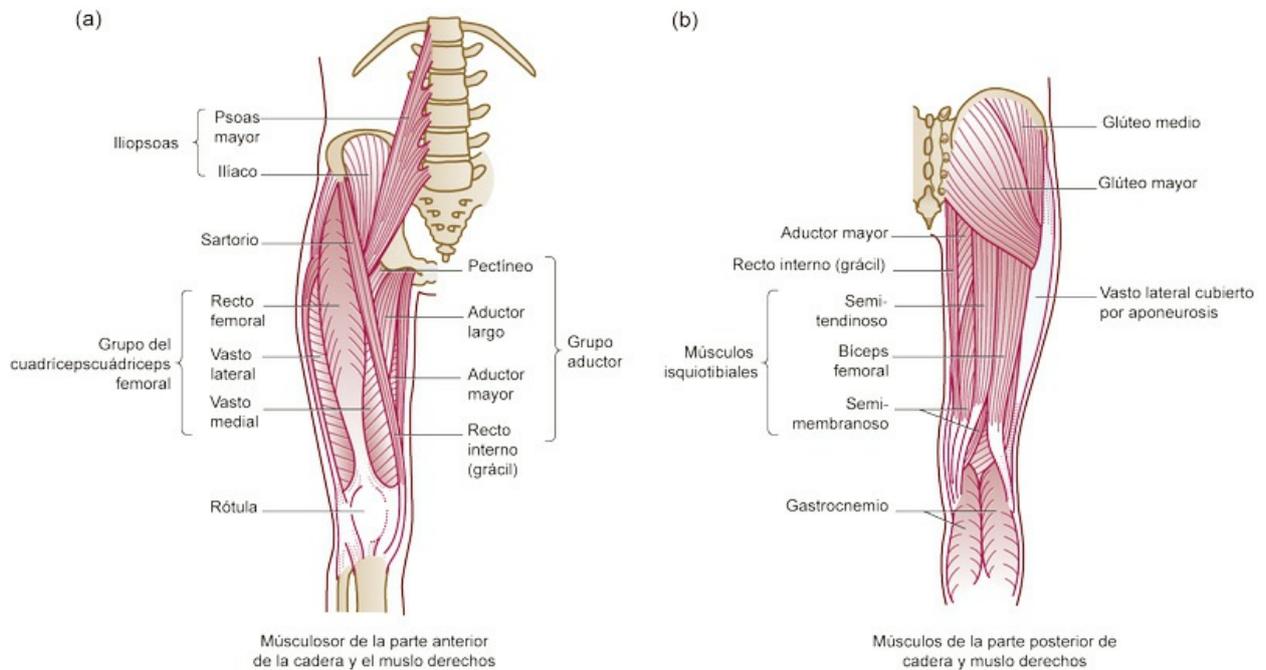
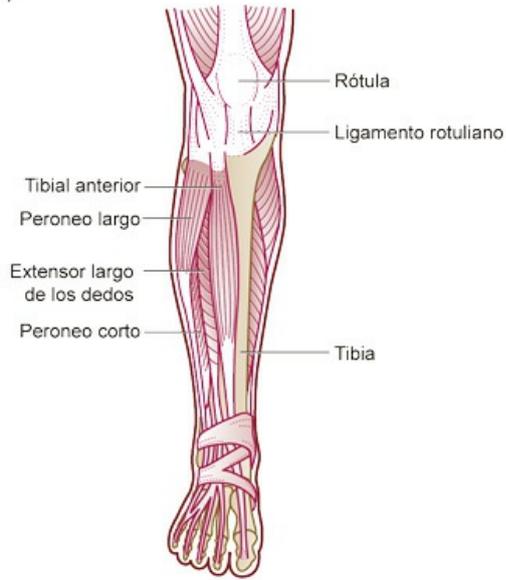


Figura 6-8. Músculos del tronco (tórax y abdomen).



(c)



Músculos de la parte anterior de la pierna derecha

(d)



Músculos de la parte lateral de la pierna derecha

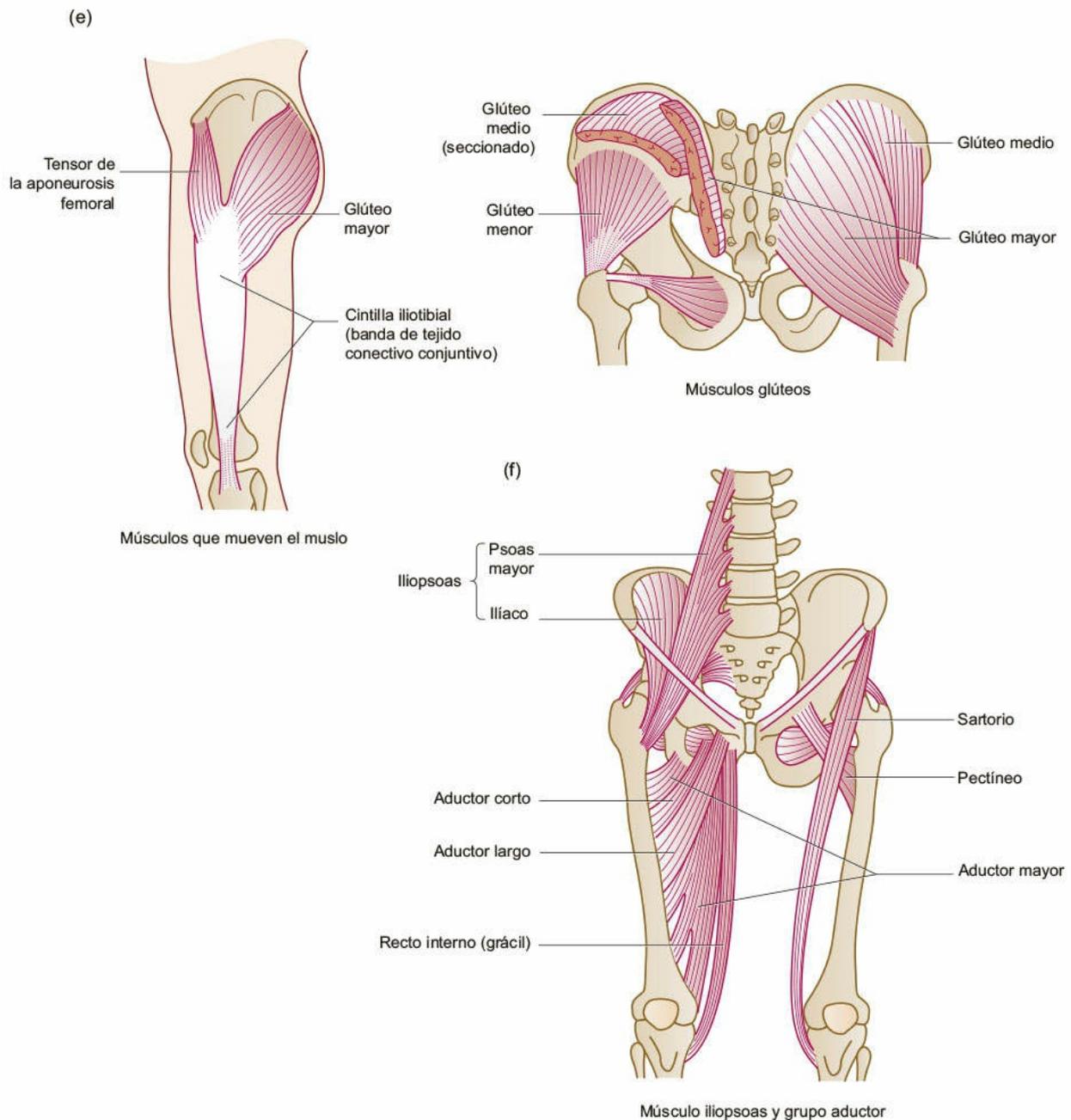


Figura 6-9. (a–f) Músculos del miembro inferior (cadera, pelvis/muslo y pierna).

Las figuras 6-10 y 6-11 presentan un panorama general de los principales músculos del cuerpo.

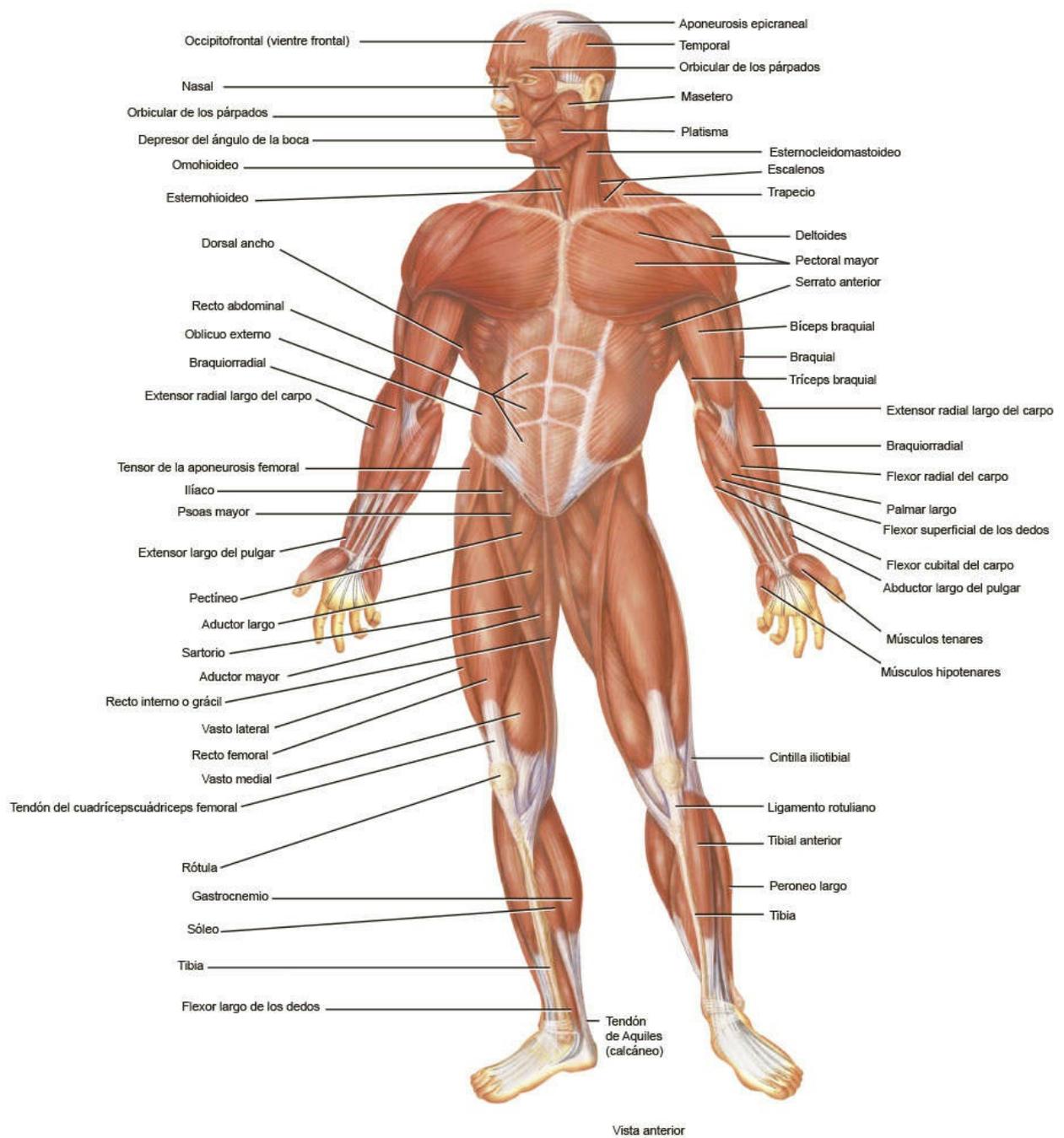


Figura 6-10. Vista anterior de los principales músculos del cuerpo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

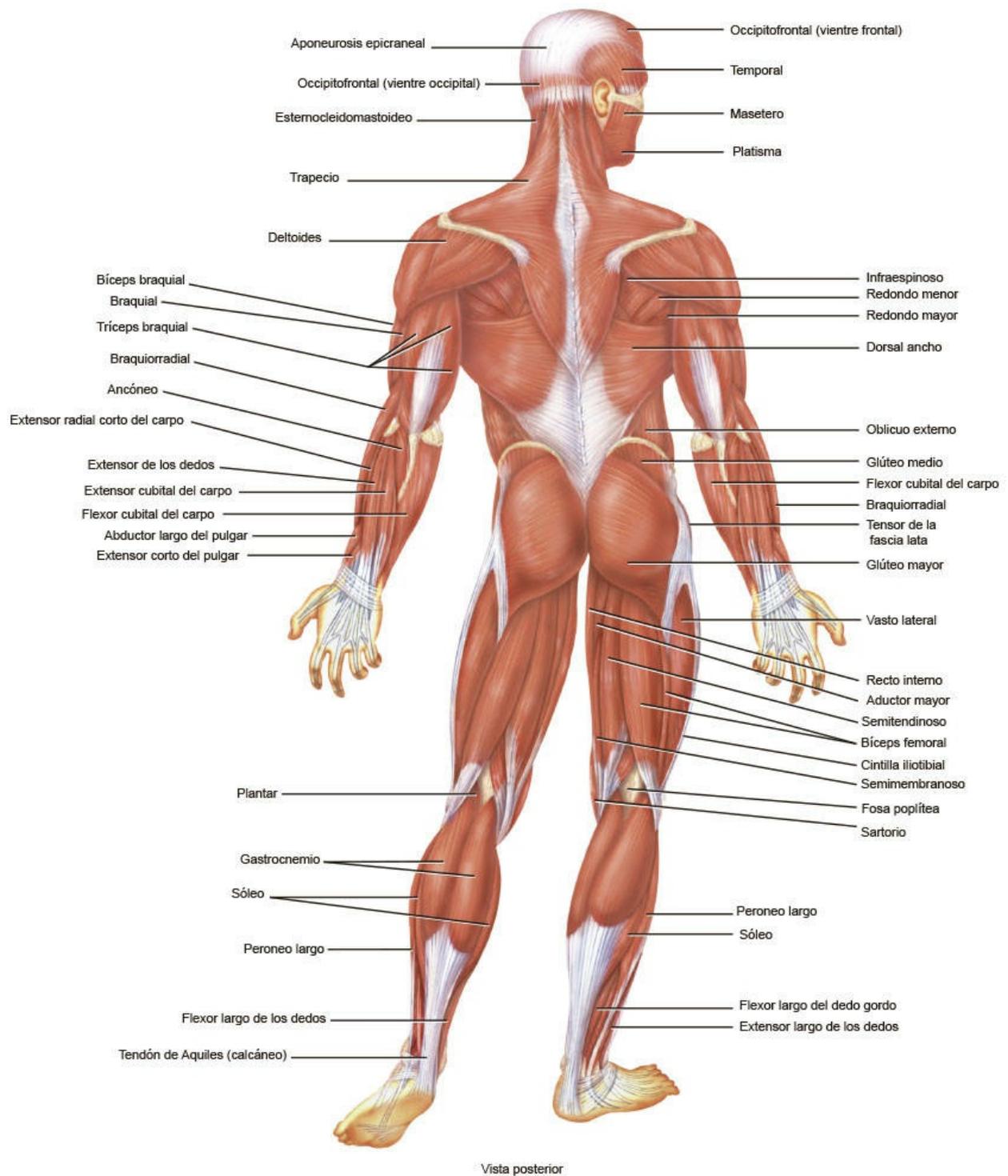


Figura 6-11. Vista posterior de los principales músculos del cuerpo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Movimiento del músculo esquelético

En realidad, el movimiento del músculo esquelético es resultado del movimiento de más de un músculo; en general, los músculos se mueven en grupos. Cuando un músculo se contrae en una articulación, un hueso permanece bastante estacionario y el otro se mueve. Como se mencionó antes, el origen de un músculo está en el hueso estacionario y su inserción en el hueso que se mueve. La acción de cada músculo depende de la forma en que el músculo se une a cada lado de una articulación y también del tipo de articulación con la que se relaciona. Cuando un músculo se contrae produce una acción específica. Sin embargo, los músculos sólo pueden tirar; no pueden empujar, ya que cuando un músculo se contrae se acorta. Por lo común hay al menos dos músculos opuestos (agonista y antagonista) que actúan en una articulación, los cuales crean movimiento en sentidos opuestos. Un músculo agonista o principal es el principal responsable de producir una acción, mientras que el antagonista del principal causa movimiento muscular en el sentido opuesto; por ejemplo, un agonista puede hacer que el brazo se flexione, mientras que el antagonista hará que se extienda.

Son tipos comunes de movimientos corporales:

- Extensión: movimiento que aumenta el ángulo o distancia entre dos huesos o partes del cuerpo.
- Hiperextensión: ángulo de extensión de más de 180°.
- Flexión: lo opuesto de la extensión; es un movimiento que reduce el ángulo o distancia entre dos huesos y acerca éstos entre sí. Es un movimiento común de las articulaciones de bisagra; por ejemplo, flexión de codo o rodilla.
- Abducción: movimiento en que una articulación se aleja de la línea media del cuerpo.
- Aducción (lo opuesto de la abducción): movimiento de una extremidad hacia la línea media del cuerpo.
- Rotación: movimiento común de las articulaciones de esfera y cuenco; es el movimiento de un hueso alrededor de su eje longitudinal.
- Circunducción: combinación de abducción, aducción, extensión y flexión.

En el cuadro 6-8 se resumen las diferentes acciones del movimiento muscular.

Cuadro 6-8. Tipos de movimiento muscular

| Acción | Definición |
|-----------|---|
| Extensión | Incrementa el ángulo o distancia entre dos huesos o partes del cuerpo |
| Flexión | Reduce el ángulo de una articulación |
| Abducción | Aleja de la línea media |
| Aducción | Acerca a la línea media |

| | |
|-----------------|---|
| Circunducción | Combinación de flexión, extensión, abducción y aducción |
| Supinación | Vuelve la palma hacia arriba |
| Pronación | Vuelve la palma hacia abajo |
| Flexión plantar | Baja el pie (punta de los dedos) |
| Dorsiflexión | Eleva el pie |
| Rotación | Mueve un hueso alrededor de su eje longitudinal |

Efectos del envejecimiento

Por lo común, el tamaño y la potencia de todos los tejidos musculares decrecen con la edad. Esto puede atribuirse a:

- Pérdida de elasticidad del músculo esquelético: a medida que los músculos envejecen pierden elasticidad por un proceso llamado fibrosis (Martini y Bartholomew, 2012). La fibrosis hace que los músculos que envejecen adquieran cantidades crecientes de tejido conjuntivo fibroso, lo que lleva a una pérdida de la flexibilidad, movilidad y circulación.
- Decremento del tamaño de las fibras musculares: conforme el músculo envejece, el número de miofibrillas disminuye y esto causa pérdida de la fuerza del músculo y mayor tendencia del músculo a fatigarse más rápido. Esta tendencia a la fatiga rápida también significa que, con la edad, hay menor tolerancia al ejercicio.
- Reducción con la edad del desempeño cardiovascular: significa que el riego sanguíneo de los músculos no aumenta con el ejercicio, la capacidad de recuperarse de lesiones musculares disminuye, y es probable que cause la formación de tejido cicatrizal.

Conclusión

El tejido muscular se clasifica en liso, cardíaco y esquelético y es un tejido especializado en la contracción. Al contraerse causa el movimiento de huesos en una articulación o en tejidos blandos. A través de su capacidad de contracción muscular parcial sostenida, la musculatura también tiene una importante función para el mantenimiento de la postura corporal durante un tiempo prolongado. El músculo esquelético asimismo es importante en la producción de calor, y puede ajustarla en temperaturas ambientales extremas.

Glosario

Acetilcolina (ACh). Neurotransmisor responsable de la transmisión de un impulso nervioso a través de la hendidura sináptica.

Acetilcolinesterasa (AChE). Enzima que degrada acetilcolina.

Actina. Una de las dos principales proteínas del músculo; es parte de las miofibrillas de las células musculares.

Aeróbico. Con la participación de oxígeno.

Anaeróbico. Sin la participación de oxígeno.

Antagonista. Músculo que actúa en oposición a un agonista.

Anterior. Relativo al frente.

Aponeurosis. Lámina membranosa que conecta un músculo y la parte que éste mueve.

Glucógeno. Polisacárido que almacena energía para la contracción muscular.

Ligamento. Tejido conjuntivo fuerte que conecta hueso.

Miastenia grave. Debilidad muscular por incapacidad de reaccionar al neurotransmisor ACh.

Miofibrilla. Haz de miofilamentos que se contrae.

Mioglobina. Pigmento rojo que almacena oxígeno para la contracción muscular.

Posterior. Relativo al dorso.

Sarcolema. Membrana plasmática de una fibra muscular que forma túbulos T.

Sarcoplasma. Citoplasma de una fibra muscular que contiene organelos, incluidas miofibrillas.

Tendón. Tejido que conecta un músculo a hueso.

Trifosfato de adenosina (ATP). Molécula usada por las células cuando requieren energía.

Túbulo T. Extensión del sarcolema que se extiende hasta el interior de la fibra muscular.

Bibliografía

- BNF (2014) <https://www.medicinescomplete.com/mc/bnf/current/PHP6709-pyridostigmine-bromide.htm?q=pyridostigmine&t=search&ss=text&p=1#> (accessed 6 December 2015).
- Harris, C. and Hobson, M. (2015) The management of soft tissue injuries and compartment syndrome. *Orthopaedics II: Spine and Pelvis* **33**(6):251–256.
- Longenbaker, S.N. (2013) *Mader's Understanding Human Anatomy and Physiology*, 6th edn. Maidenhead: McGraw-Hill.
- Marieb, E.N. (2013) *Essentials of Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. London: Pearson Benjamin Cummings.
- Martini, F.H. and Bartholomew, E.F. (2012) *Essentials of Anatomy and Physiology*, 6th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson Education.
- National Institute on Drug Abuse (2012) *DrugFacts; Anabolic Steroids*. <http://www.drugabuse.gov/publications/drugfacts/anabolic-steroids> (accessed 21 November 2015).
- Public Health England (2014) *Botulism*. <https://www.gov.uk/search?q=botulism> (accessed 6 December 2015).
- Shier, D., Butler, J. and Lewis, R. (2012) *Hole's Human Anatomy and Physiology*, 13th edn. Maidenhead: McGraw-Hill.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2012) *Essentials of Anatomy and Physiology*, 9th edn. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.

Lecturas adicionales

Myaware

<http://www.myaware.org>

Myaware es el nombre de la *Myasthenia Gravis Association*, la cual ofrece apoyo para personas con miastenia y sus familias; su objetivo es mejorar la conciencia del público y los médicos sobre el trastorno y recabar fondos para investigación y personal de apoyo.

Talk to Frank

<http://www.talktofrank.com>

Proporciona ayuda confidencial amistosa acerca de las drogas.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Qué proporción del cuerpo humano adulto promedio es músculo esquelético?
 - (a) 40 a 50%
 - (b) 10%
 - (c) 30%
 - (d) 70%.
2. En una contracción muscular isotónica:
 - (a) No ocurre movimiento de huesos.
 - (b) Tanto la tensión como la longitud del músculo cambian.
 - (c) La longitud del músculo permanece constante.
 - (d) La tensión del músculo permanece constante.
3. La capa de tejido conjuntivo más interna que rodea un músculo esquelético se llama:
 - (a) Hipodermis.
 - (b) Perimisio.
 - (c) Endomisio.
 - (d) Epimisio.
4. ¿Cuál de los siguientes enunciados sobre el músculo esquelético *no* es válido?
 - (a) Está bajo control voluntario.
 - (b) No es estriado.
 - (c) Puede tener fibras musculares largas.
 - (d) Suele estar unido al esqueleto.
5. La energía para la contracción muscular proviene más *directamente* de:
 - (a) Respiración aeróbica.
 - (b) Fosfocreatinina.
 - (c) Respiración anaeróbica.
 - (d) ATP.
6. La extensión de un músculo:
 - (a) Reduce el ángulo.
 - (b) Aumenta el ángulo.
 - (c) Es realizada por un flexor.
 - (d) (b) y (c)
7. La inserción movable de músculo a hueso se denomina:
 - (a) Articulación.
 - (b) Origen.
 - (c) Rotador.
 - (d) Inserción.
8. Los músculos esqueléticos mueven el cuerpo:
 - (a) Mediante estimulación neural.
 - (b) Tirando de los huesos del esqueleto.
 - (c) Usando la energía del ATP para formar ADP.

- (d) Por activación de vías enzimáticas.
9. Si se requiere más ATP, ¿cuál de las siguientes puede usarse como fuente de energía alterna?
- (a) Miosina.
 - (b) Troponina.
 - (c) Fosfato de creatina.
 - (d) Mioglobina.
10. La relajación y contracción del músculo masetero causaría:
- (a) Parpadeo.
 - (b) Carrera.
 - (c) Masticación
 - (d) Flexión descendente.

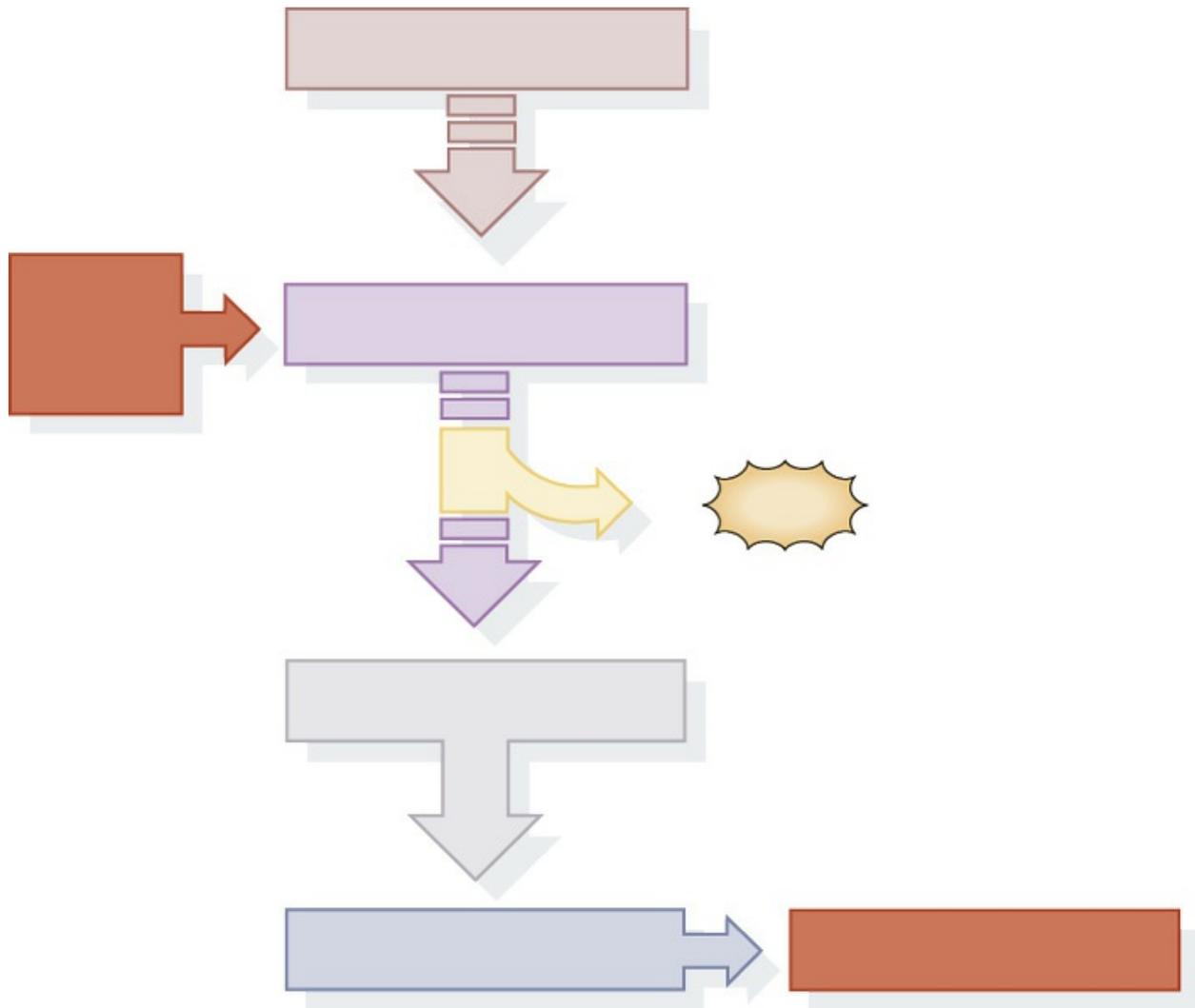
Falso o verdadero

1. Hay dos tipos de tejido muscular.
2. La mayor parte del ATP usada durante ejercicio moderado proviene de la respiración anaeróbica.
3. Los músculos esqueléticos del cuerpo se dividen en seis secciones.
4. Cuando ocurre un déficit de oxígeno, el organismo debe reponer el fosfato de creatina para compensar este déficit.
5. La aducción es el movimiento de una extremidad hacia la línea media del cuerpo.
6. Hay más de 1 000 músculos en el cuerpo del lector.
7. Los músculos esqueléticos o voluntarios son los que la persona no puede controlar.
8. Los tendones conectan músculos con huesos.
9. El hígado es un músculo.
10. Un músculo sufre distensión cuando se estira demasiado.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

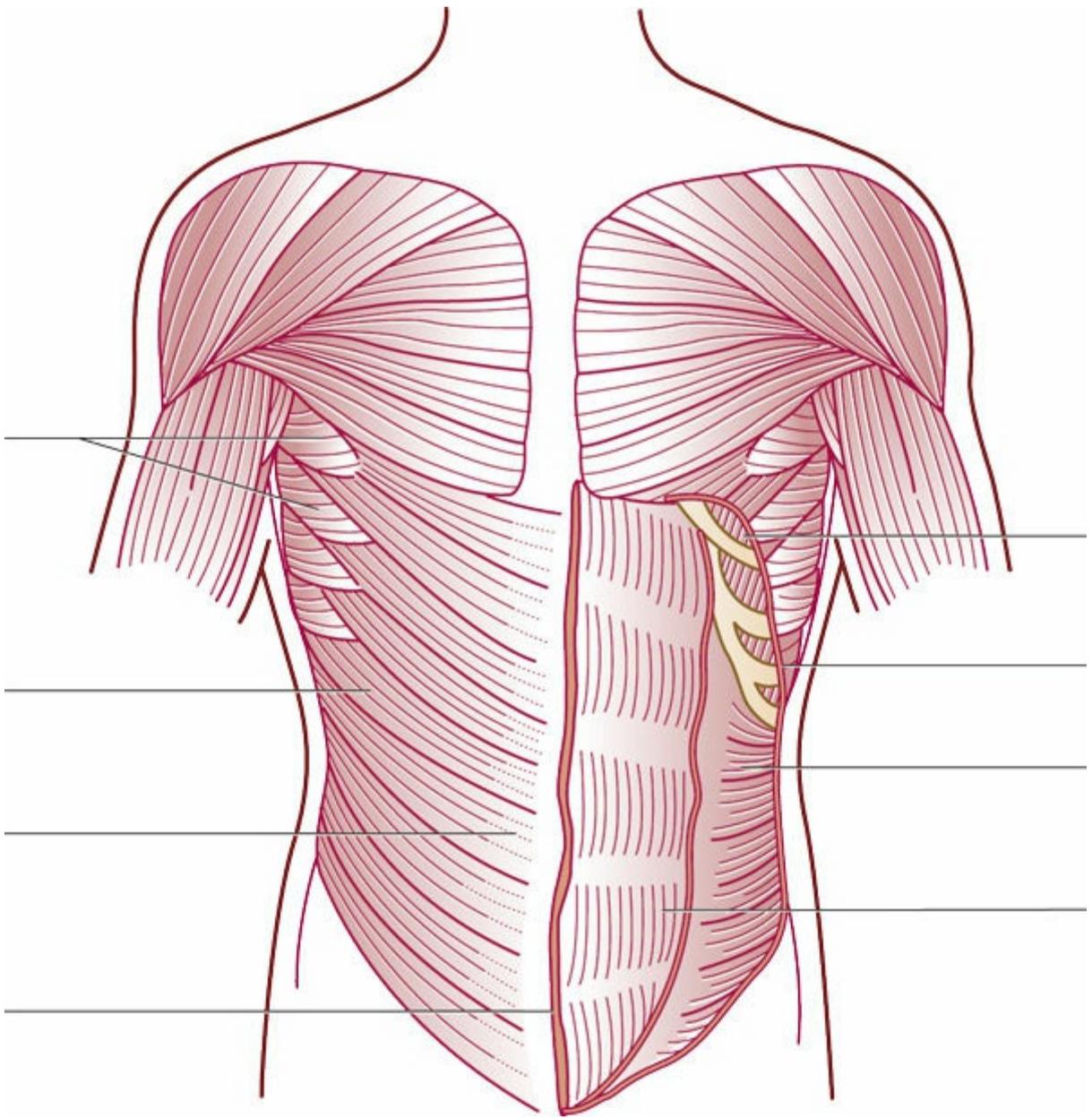
Glucógeno muscular, De la sangre, Glucosa, Glucólisis, 2 ATP (ganancia neta), 2 Ácido pirúvico, 2 Ácido láctico, Hacia la sangre



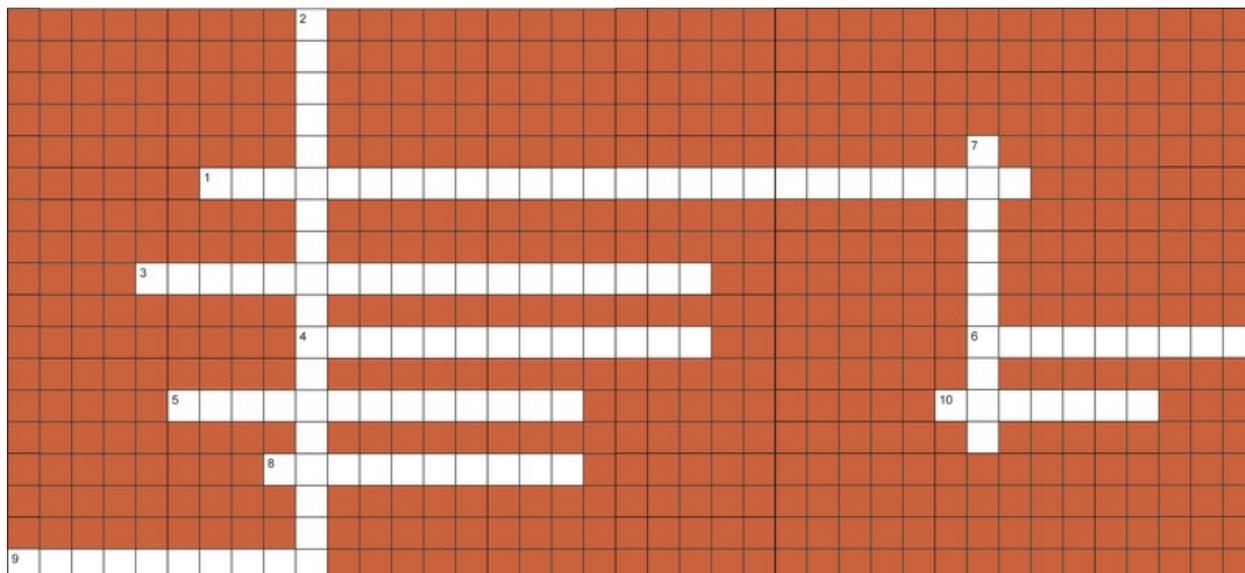
Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Serrato anterior, Oblicuo externo, Aponeurosis del oblicuo externo, Línea blanca (banda de tejido conjuntivo denso en la línea media), Intercostal externo, Oblicuo externo (corte), Recto abdominal, Oblicuo interno



Crucigrama



Horizontales:

1. Producen las estrías del músculo esquelético (10, 6, 1, 8).
3. Red de tubos que almacena calcio (7, 11).
4. Durante la respiración anaeróbica, la glucosa se convierte en: (5, 8).
5. Una de las funciones de la musculatura (7, 5).
6. La _____ de un músculo está en el hueso al que mueve (9).
8. Movimiento desde la línea media (9).
9. Pigmento pardo rojizo que almacena oxígeno (10).
10. Con el envejecimiento, la potencia del músculo _____ (7).

Verticales:

2. Aporta 95% del ATP requerido para el ejercicio moderado (11, 8).
7. Músculo con forma de diamante (9).

Para profundizar

1. Nombre y describa las tres formas de tejido muscular humano e indique dónde se les encuentra en el cuerpo.
2. Delinee el modo en que se suministra ATP a los músculos.
3. Describa los procesos que llevan a la contracción muscular.
4. Explique el modo en que el envejecimiento afecta al músculo esquelético.
5. Describa una unión neuromuscular.
6. ¿Por qué el músculo esquelético se ve estriado al microscopio?
7. ¿Qué función tiene el calcio en el músculo?
8. ¿Qué significa anabólico y catabólico?
9. ¿Qué significa mialgia?
10. Indique otro nombre del omóplato.

Afecciones

La siguiente es una lista de afecciones relacionadas con la musculatura. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada una de esas afecciones. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej., personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

| |
|----------------------|
| Distrofia muscular |
| Miastenia grave |
| Fibromialgia |
| Tétanos |
| Rigidez cadavérica |
| Calambres musculares |
| Poliomielitis |
| Rabdomiólisis |
| Sarcoma |
| Fibrosis |
| Botulismo |



Capítulo 7

Sistema circulatorio

Muralitharan Nair

Ponga a prueba sus conocimientos previos

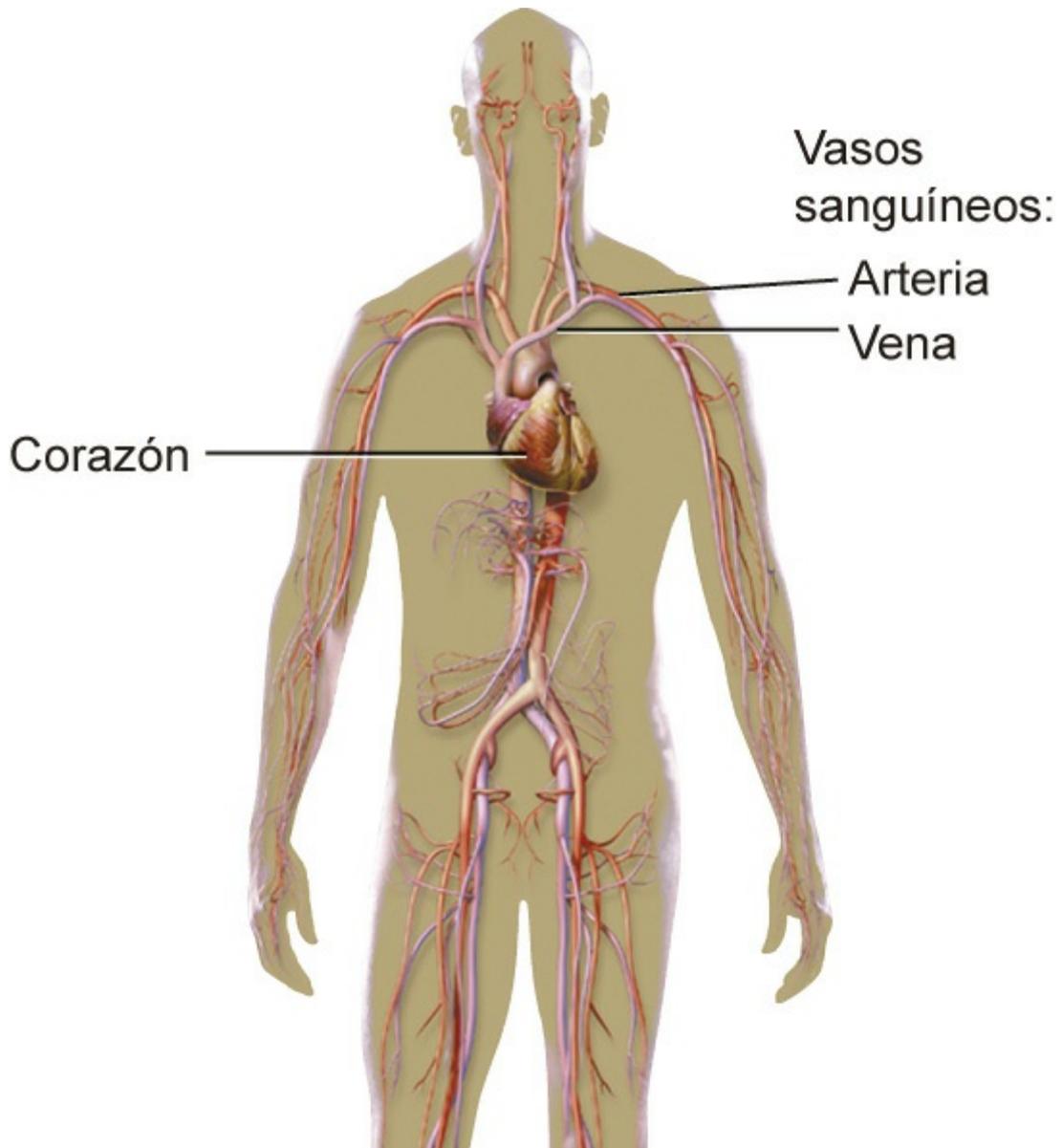
- Compare y contraste arterias y venas
- Enumere los elementos formes de la sangre
- Indique las funciones de los glóbulos sanguíneos
- Comente el ciclo de vida de un eritrocito
- Mencione las funciones del sistema linfático

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Comentar la composición normal de la sangre
- Enumerar las funciones de eritrocitos, leucocitos y plaquetas
- Explicar el ciclo de vida de eritrocitos y leucocitos
- Mencionar algunas diferencias entre una arteria y una vena
- Exponer las funciones de la circulación linfática

Mapa del cuerpo



Introducción

El aparato circulatorio es un complejo de distribución de nutrimentos, gases y electrolitos, y de eliminación de productos de desecho del metabolismo y otras sustancias. El aparato circulatorio incluye corazón, sangre, vasos sanguíneos y sistema linfático. Los vasos sanguíneos transportan sangre por todo el organismo. La sangre consiste en elementos formes y una porción líquida llamada plasma. Los vasos sanguíneos forman una red que permite el flujo de sangre desde el corazón a todas las células vivas y de vuelta al corazón. La sangre tiene numerosas funciones, incluido el transporte de nutrimentos, gases respiratorios como oxígeno y dióxido de carbono, desechos metabólicos como urea y ácido úrico, hormonas, electrolitos y anticuerpos. Al tiempo que la sangre circula por todo el organismo, las células extraen constantemente de ella nutrimentos, hormonas, electrolitos, oxígeno y otras sustancias, y excretan desechos en ella. La sangre es transportada por todo el cuerpo por una red de vasos sanguíneos que parten del corazón y regresan a él. Los principales tipos de vasos sanguíneos son arterias, arteriolas, capilares, vénulas y venas. Otra parte importante del aparato circulatorio es el sistema linfático, que drena el líquido llamado linfa. El sistema linfático consiste en vasos linfáticos, ganglios linfáticos y glándulas linfáticas como bazo y timo. Este capítulo se centra en la composición, estructura y funciones de diversos glóbulos sanguíneos, y analiza la estructura y funciones de los vasos sanguíneos, factores que afectan la presión arterial, y estructura y funciones del sistema linfático.

Componentes de la sangre

La sangre consiste en elementos formes (sólidos) como los eritrocitos (glóbulos rojos), leucocitos (glóbulos blancos) y plaquetas. La porción líquida de la sangre se llama plasma, y contiene diferentes tipos de proteínas y otras moléculas solubles. Cuando una muestra de sangre se centrifuga, los elementos formes representan 45% de la sangre, y el plasma es el 55% del volumen sanguíneo total. En condiciones normales, más del 99% de los elementos formes son eritrocitos (glóbulos rojos). Los leucocitos (glóbulos blancos) y las plaquetas representan menos del 1% de los elementos formes. Entre el plasma y los eritrocitos se encuentra la capa leucocítica, que consiste en glóbulos blancos y plaquetas (figura 7-1). La porción de elementos formes constituye el hematocrito (paquete celular). El hematocrito es una prueba sanguínea que mide el porcentaje de eritrocitos en sangre entera. El volumen de sangre es constante a menos que la persona tenga problemas fisiológicos, por ejemplo hemorragia.

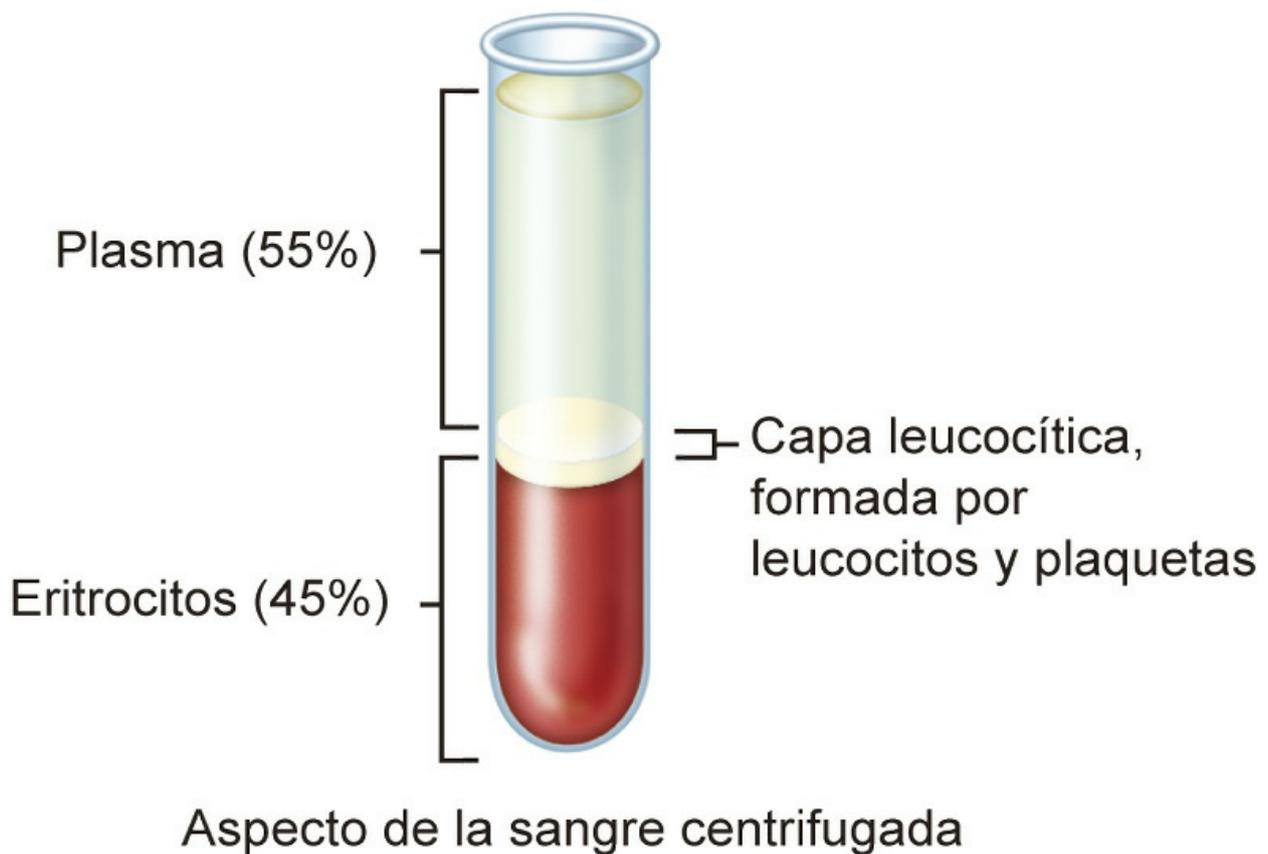
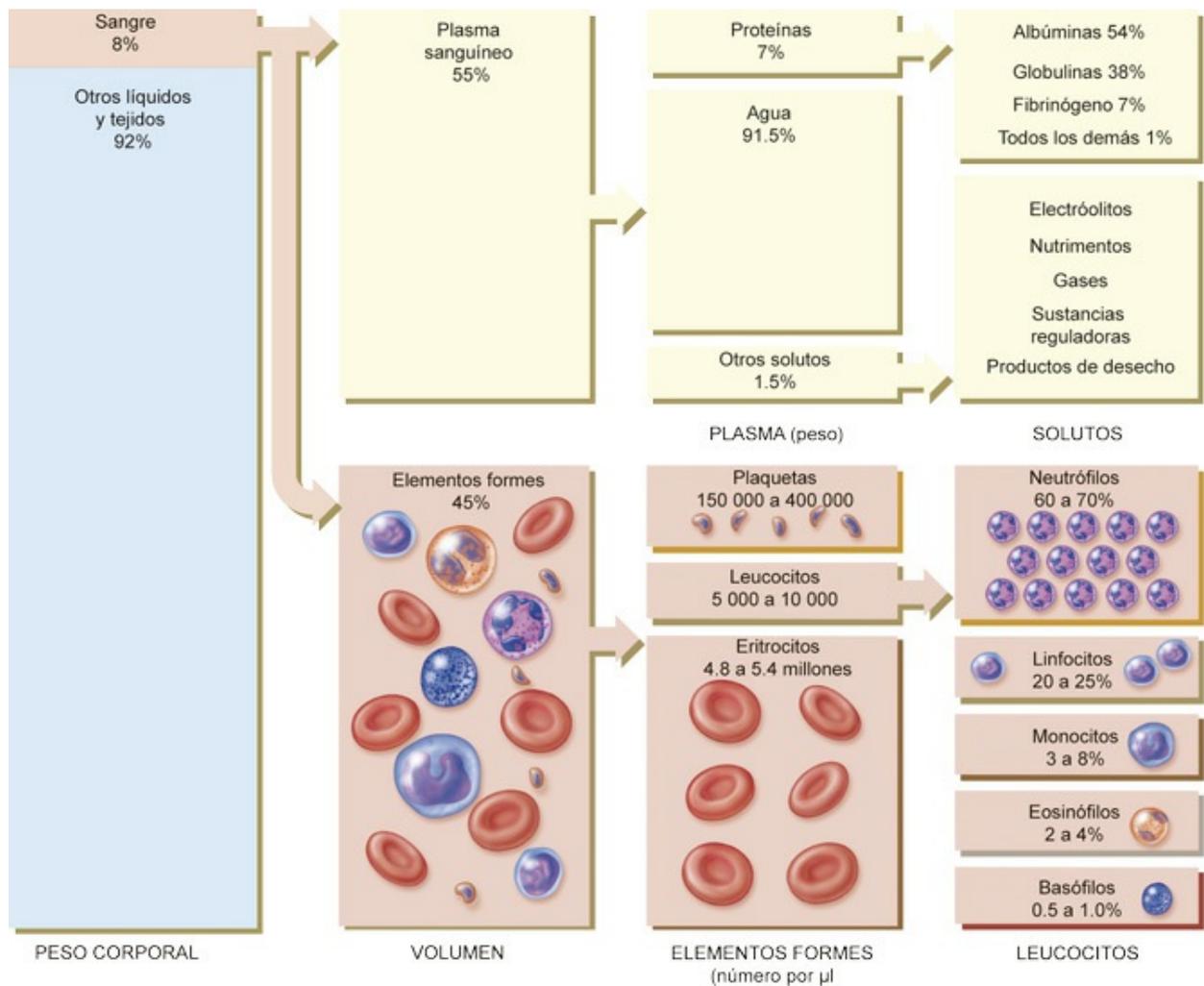


Figura 7-1. Componentes de la sangre. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Así, la sangre está compuesta por plasma (un líquido amarillento que contiene nutrientes, hormonas, minerales y diversas células, sobre todo eritrocitos, leucocitos y plaquetas (figura 7-2)). Tanto los elementos formes como el plasma tienen una importante función en la homeostasis.



Componentes de la sangre

Figura 7-2. Células de la sangre. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Propiedades de la sangre

El adulto promedio tiene un volumen sanguíneo de alrededor de 5 L, que representa un 7 a 9% del peso corporal. Los varones tienen 5 a 6 L y las mujeres 4 a 5 L. La sangre es más espesa, densa y viscosa que el agua debido a los eritrocitos y proteínas plasmáticas, como la albúmina y el fibrinógeno. Las proteínas plasmáticas, incluidas la albúmina, fibrinógeno, protrombina y las γ -globulinas, constituyen un 8% del plasma sanguíneo. Esas proteínas ayudan a mantener el equilibrio hídrico, influyen en la presión osmótica, incrementan la viscosidad de la sangre y contribuyen a mantener la presión arterial. Todas las proteínas plasmáticas salvo las γ -globulinas se sintetizan en el hígado.

La osmolalidad normal del líquido extracelular es de 285 a 295 mOsmol/kg. La osmolalidad de la sangre es importante para la supervivencia celular. Si se eleva a alrededor de 600 mOsmol, los glóbulos rojos pueden sufrir crenación (encogimiento) y morir, y si disminuye a menos de 150 mOsmol, pueden experimentar hemólisis (rotura). La hemólisis masiva puede ser letal. La osmolalidad plasmática es controlada en forma estrecha por mecanismos homeostáticos. Los cambios en la osmolalidad plasmática son detectados por osmorreceptores en el aparato circulatorio. Si la osmolalidad es demasiado baja (es decir, si la sangre está demasiado diluida), se desactiva la secreción de vasopresina (ADH, *antidiuretic hormone*) y la sangre se concentra poco a poco a medida que se excreta agua en la orina. La deshidratación activa la secreción de ADH, de modo que se conserva agua. A fin de evitar crenación y hemólisis, los líquidos intravenosos deben tener una osmolalidad tan cercana a la del plasma como sea posible. Una solución que tiene la misma presión osmótica que otra se denomina isotónica. Cuando se habla de una solución isotónica, en general se supone que tiene la misma osmolalidad que la sangre.

La sangre tiene elevada viscosidad, lo cual significa que se resiste a fluir. Los eritrocitos y las proteínas contribuyen a la viscosidad de la sangre, que varía entre 3.5 y 5.5 veces la viscosidad del agua (de 1.000). La viscosidad se refleja en la adhesividad; la viscosidad normal de la sangre es baja, lo cual significa que fluirá con facilidad. Sin embargo, a mayor cantidad de eritrocitos y proteínas plasmáticas en la sangre, mayor la viscosidad y más lento el flujo. La sangre normal varía en viscosidad al fluir por los vasos sanguíneos, pero su viscosidad decrece al llegar a los capilares. La densidad relativa (o peso específico) de la sangre es de 1.045 a 1.065 (contra 1.000 del agua), y su pH varía entre 7.35 y 7.45 (Nair, 2013).

Plasma

El plasma sanguíneo es un líquido de color amarillo pálido con volumen total en el adulto de alrededor de 2.5 a 3 L. Contiene alrededor de 91% de agua y 10% de solutos, la mayoría de los cuales son proteínas. El plasma constituye un 55% del volumen sanguíneo (figura 7-2). En el cuadro 7-1 se presenta la composición del plasma.

Cuadro 7-1. Composición del plasma y funciones de sus componentes

| Sustancias | Funciones |
|---|---|
| Agua (91%) | Lubricación, transporte, distribución del calor y como solvente |
| Proteína plasmática <ul style="list-style-type: none"> • Albúmina • Globulina • Protrombina • Fibrinógeno | Responsable de la ósmosis coloidal, viscosidad de la sangre, transporte de hormonas, ácidos grasos y calcio. Protección contra infecciones. Transporte de sustancias insolubles al permitirles fijarse a moléculas de proteína. Regulación del pH sanguíneo. Un desequilibrio de proteínas plasmáticas puede ocasionar que un paciente presente síntomas que van desde la dilatación anormal de vasos sanguíneos hasta la inmunodeficiencia |
| Electrolitos <ul style="list-style-type: none"> • Sodio • Potasio • Calcio • Bicarbonato • Fosfato • Cloruro | Ayudan a mantener la presión osmótica y el funcionamiento celular |
| Nutrimentos <ul style="list-style-type: none"> • Aminoácidos • Ácidos grasos • Glucosa • Glicerol • Vitaminas • Minerales | Funcionamiento celular, crecimiento y desarrollo |
| Gases | Funcionamiento celular y regulación del pH sanguíneo |
| Enzimas, hormonas y vitaminas | Reacciones químicas, regulación de crecimiento y desarrollo, y como cofactores en reacciones enzimáticas |
| Productos de desecho <ul style="list-style-type: none"> • Urea • Ácido úrico • Creatinina • Bilirrubina | Son degradados y transportados por la sangre a los órganos de la excreción |

Fuente: Adaptado de Jenkins Tortora (2013).

Agua en el plasma

El agua constituye un 91% del plasma y está disponible para las células, tejidos y líquido extracelular del cuerpo, a fin de mantener la homeostasis. Se le considera la porción líquida de la sangre. Es un solvente en el cual ocurren reacciones químicas intracelulares y extracelulares. El agua contiene solutos, por ejemplo electrólitos, cuyas concentraciones cambian para satisfacer las necesidades corporales.

Funciones de la sangre

Las funciones de la sangre son:

- **Transporte:** la sangre es el medio por el cual todos los nutrientes y gases respiratorios son transportados hacia y desde las células.
- **Mantenimiento de la temperatura corporal:** la sangre ayuda a mantener la temperatura corporal al distribuir de manera uniforme en todo el cuerpo el calor producido por la actividad química de las células.
- **Mantenimiento del equilibrio acidobásico:** el pH de la sangre es mantenido por la excreción o reabsorción de iones hidrógeno y bicarbonato.
- **Regulación del equilibrio hídrico:** cuando la sangre llega a los riñones, el exceso de líquido se excreta o reabsorbe para mantener el equilibrio hídrico.
- **Eliminación de productos de desecho:** la sangre elimina todos los productos de desecho de los tejidos y las células. Estos productos son transportados a los órganos apropiados para su excreción: pulmones, riñones, intestino, piel, etc.
- **Coagulación sanguínea:** mediante el mecanismo de coagulación, se evita la pérdida de glóbulos sanguíneos y líquidos corporales.
- **Defensa:** la sangre ayuda a la defensa del cuerpo contra la invasión de microorganismos y sus toxinas debido a:
 - La acción fagocítica de neutrófilos y monocitos.
 - La presencia de anticuerpos y antitoxinas.

Consideraciones clínicas

Transfusión sanguínea

El principal motivo para transfundir eritrocitos es tratar la anemia. Ocurre anemia cuando el cuerpo no tiene suficientes glóbulos rojos para transportar oxígeno, lo cual implica que los tejidos y células del cuerpo no obtienen suficiente oxígeno. Suele administrarse sangre mediante un tubo de plástico que se inserta en una vena del brazo. Puede requerirse entre 30 min y 4 h, según la cantidad de sangre requerida.

En los países industrializados hay rigurosas regulaciones para la donación y las transfusiones de sangre. El objetivo de estas regulaciones es minimizar el riesgo de que una persona reciba sangre contaminada por virus, como el de la hepatitis C, o sangre de un tipo incompatible.

Las enfermeras deben apegarse a las políticas locales y de la profesión cuando administren transfusiones. Algunas de las verificaciones que deben realizarse son:

- Que el paciente porte un brazalete de identificación con su nombre, apellido, fecha de nacimiento, etc.
- Fecha y hora en que se requiere la transfusión.
- Tipo sanguíneo del paciente.
- Presencia de anticuerpos/alergias conocidos.
- Género.
- Diagnóstico.
- Consentimiento informado.

Formación de glóbulos sanguíneos

Los eritrocitos y la mayoría de los leucocitos y plaquetas se producen en la médula ósea. Como ya se mencionó, eritrocitos, leucocitos y plaquetas son los elementos formes de la sangre (figura 7-3). La médula ósea es la sustancia adiposa blanda presente en las cavidades óseas. Dentro de la médula ósea, todos los glóbulos sanguíneos se originan a partir de un solo tipo de célula no especializada que recibe el nombre de célula madre. Cuando una célula madre se divide, primero se convierte en un eritrocito, leucocito o célula productora de plaquetas, inmaduros. La célula inmadura se divide entonces, madura más y al final se transforma en un eritrocito, leucocito o grupo de plaquetas maduros (véase figura 16-1).

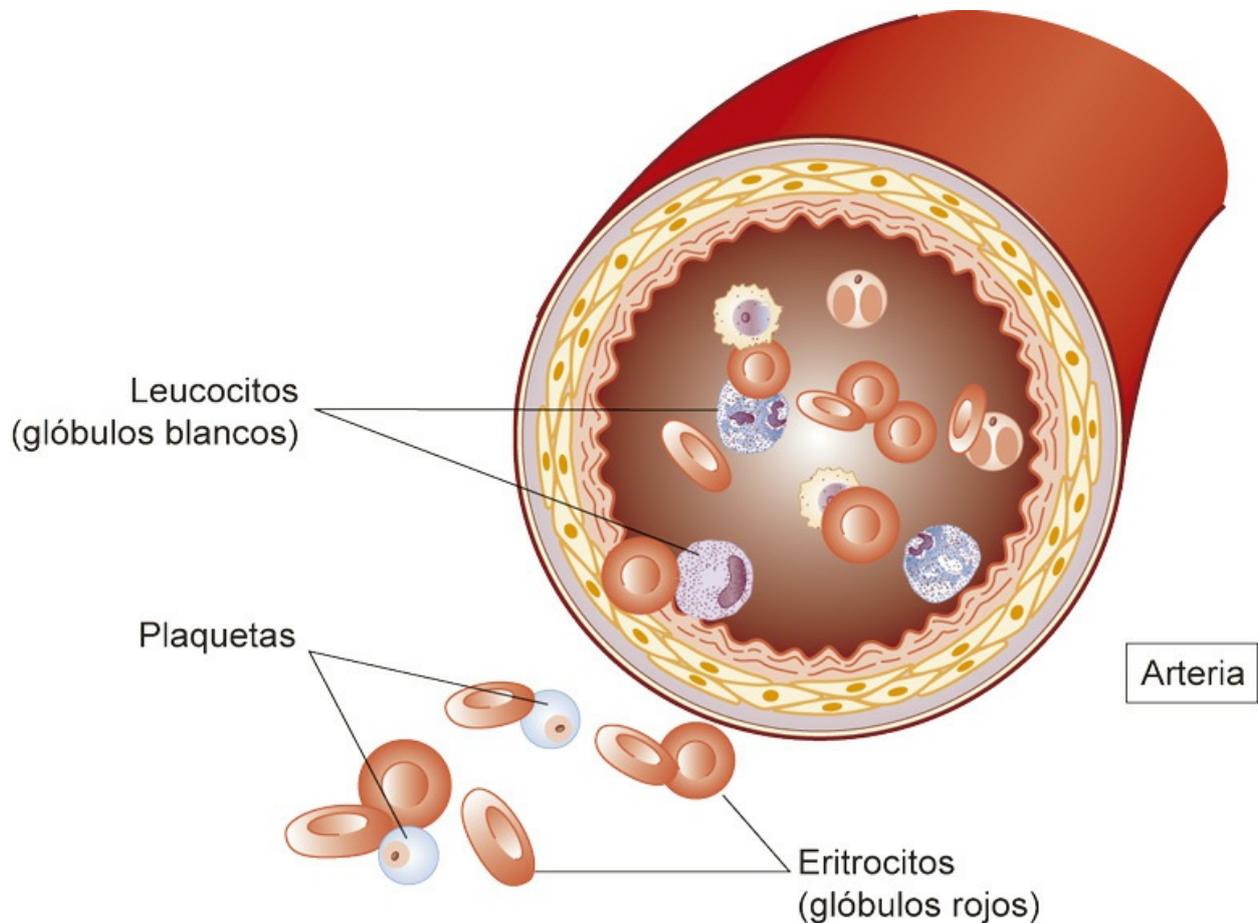


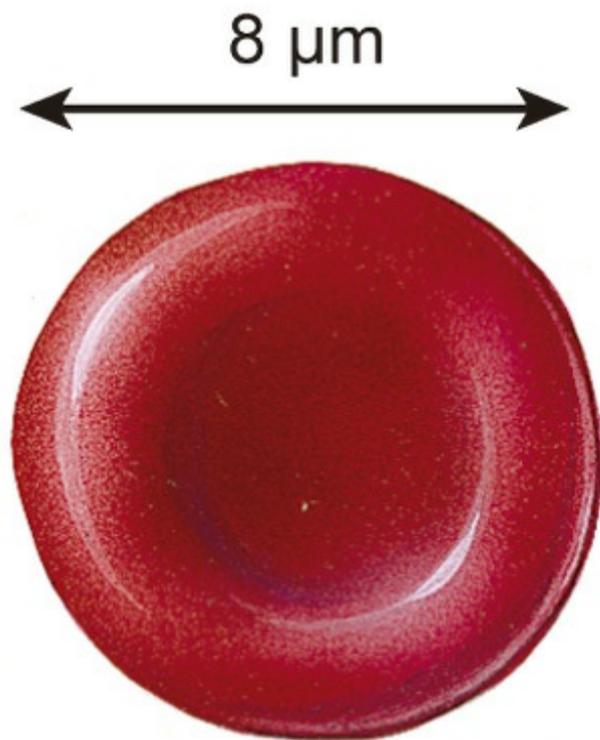
Figura 7-3. Elementos formes de la sangre.

Para producir glóbulos sanguíneos, las células madre multipotentes (también llamadas pluripotentes) se dividen en células madre mielocíticas y linfocíticas en la médula ósea. Las primeras se subdividen aquí para producir eritrocitos, plaquetas (trombocitos), basófilos, eosinófilos, neutrófilos y monocitos. Las células madre linfocíticas comienzan a desarrollarse en la médula ósea como linfocitos B y T. Los linfocitos B continúan su desarrollo en la médula ósea, antes de migrar a otros órganos linfáticos como ganglios linfáticos, bazo o

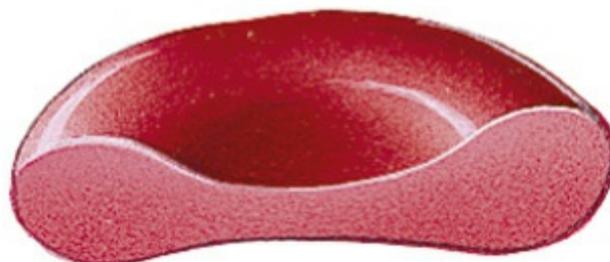
amígdalas. Los linfocitos T continúan su desarrollo en el timo, y pueden migrar después a otros tejidos linfáticos.

Eritrocitos

Los eritrocitos (glóbulos rojos) son los glóbulos sanguíneos más abundantes. Son discos bicóncavos (figura 7-4) y contienen la proteína transportadora de oxígeno llamada hemoglobina. La forma bicóncava es mantenida por una red de proteínas llamada espectrina. Esta red de proteínas permite a los eritrocitos cambiar de forma al circular por los vasos sanguíneos. La membrana plasmática de un eritrocito es fuerte y flexible. Hay alrededor de 4 millones a 5.5 millones de eritrocitos en cada milímetro cúbico de sangre. Son de color amarillo pálido que luce más brillante en el centro. Los eritrocitos jóvenes tienen un núcleo; sin embargo, éste se pierde en el eritrocito maduro. La falta de éste y los demás organelos, como las mitocondrias, incrementa la capacidad de carga de oxígeno de los eritrocitos.



Vista superior



Vista en corte

Forma de un eritrocito

Figura 7-4. Eritrocitos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La principal función de la hemoglobina en el eritrocito es transportar oxígeno y dióxido de carbono (alrededor de 20%). Mientras la sangre fluye por los capilares en los tejidos, el dióxido de carbono es captado por la hemoglobina y se libera oxígeno. Cuando la sangre llega a los pulmones, el dióxido de carbono

se libera y las moléculas de hemoglobina captan oxígeno. Dado que los glóbulos rojos carecen de mitocondrias que produzcan energía (adenosin trifosfato), utilizan la respiración anaeróbica a fin de producir energía, y no usan nada del oxígeno que transportan. Además de transportar oxígeno y dióxido de carbono, la hemoglobina tiene un importante cometido en el mantenimiento de la presión arterial y el flujo sanguíneo.

Administración de medicamentos

Anemia ferropénica

El tratamiento de la anemia ferropénica (por deficiencia de hierro) suele implicar el uso de complementos de hierro y el cambio en la alimentación para incrementar las concentraciones de hierro, además de tratar la causa subyacente. Los complementos de hierro se prescriben para reponer el hierro faltante en el organismo. El más usado es el sulfato ferroso, que se toma en una tableta, 2 o 3 veces al día. Las enfermeras y el personal en salud en general deben tener presente que los pacientes que reciben tabletas de hierro pueden presentar:

- Dolor abdominal.
- Estreñimiento o diarrea.
- Pirosis (agruras).
- Malestar general.
- Melena (heces negras).

La melena también puede deberse a sangrado gastrointestinal alto. Si estos síntomas persisten se indica al paciente que consulte a su médico a fin de tomar medidas expeditas para aliviar los efectos adversos.

Véase NHS Choices (2014).

Hemoglobina

La hemoglobina consiste en una proteína llamada globina unida a los pigmentos que contienen hierro llamados hemo. Cada molécula de globina tiene cuatro cadenas polipeptídicas consistentes en dos cadenas α y dos cadenas β (figura 7-5). Cada molécula de hemoglobina tiene cuatro átomos de hierro, y cada uno de éstos transporta una molécula de oxígeno; por lo tanto, una molécula de hemoglobina transporta cuatro moléculas de oxígeno. Hay unos 250 millones de moléculas de hemoglobina en un eritrocito; así, un eritrocito transporta 1 000 millones de moléculas de oxígeno. En el extremo capilar la hemoglobina libera la molécula de oxígeno en el líquido intersticial, que entonces se transporta al interior de las células.

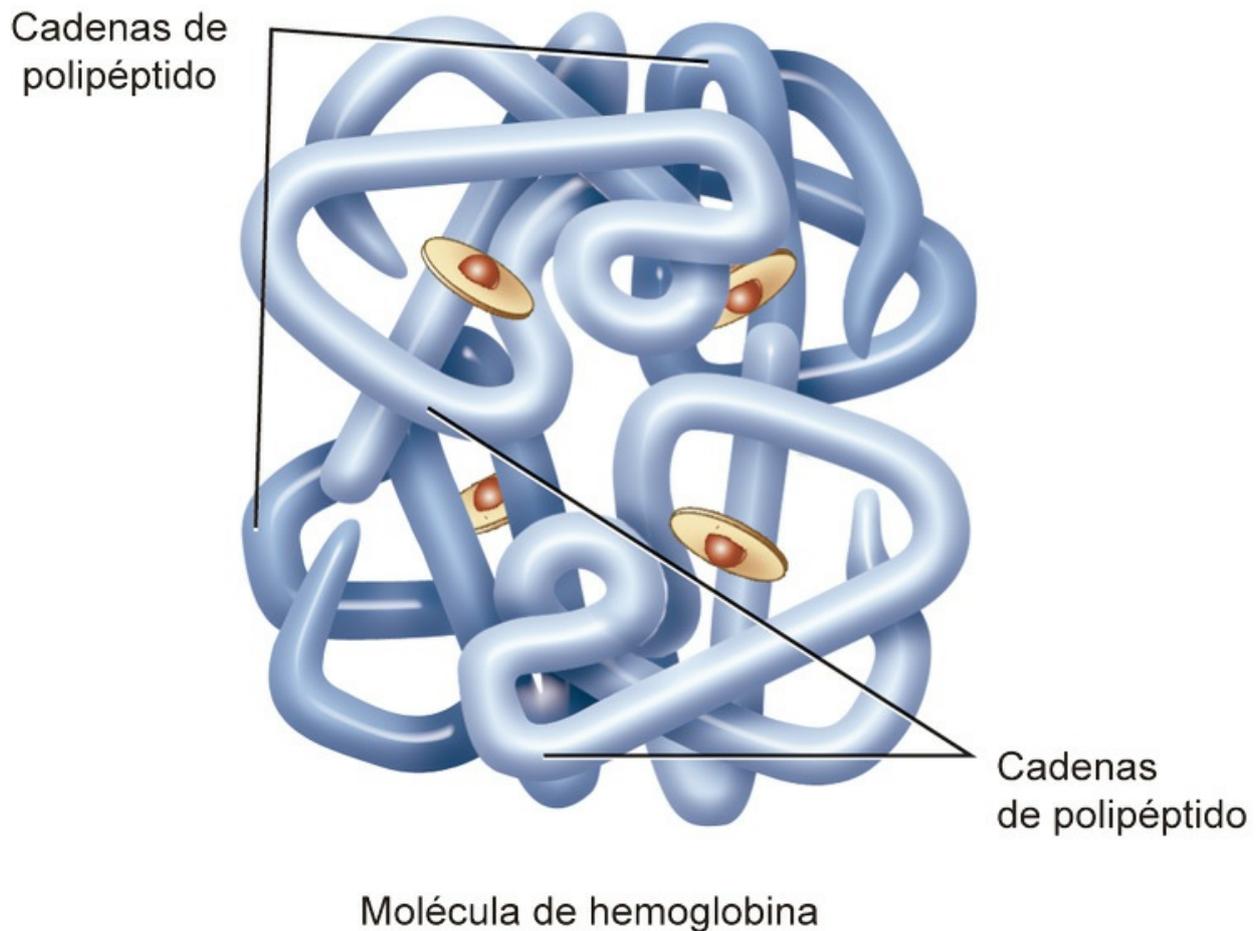


Figura 7-5. Molécula de hemoglobina. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Caso clínico

Paciente con anemia por deficiencia de ácido fólico

Roberto Sosa es un varón de 84 años que vive solo. Su esposa falleció hace tres años, y aún la echa de menos. Tiene dos hijos mayores que lo visitan con regularidad. Le mencionó a su hijo, quien lo visitó el Día del Padre, que a últimas fechas se sentía muy cansado y sin ánimos de cocinar para sí mismo. Todo lo que deseaba era descansar y dormir. Preocupado, el hijo le pidió que viera a su médico para que lo revisara.

Roberto hizo una cita y vio a su médico. En el consultorio, comentó que preparar una comida para una persona no tiene sentido y que a veces sólo desayuna algo ligero, come un par de rebanadas de pan y cena sopa con pan a las 7 p.m., y así se ha mantenido por un par de semanas.

La valoración física y los signos vitales son: peso 65 kg; temperatura 36 °C; pulso 110 latidos por minuto; respiración 23 inhalaciones por minuto; presión arterial 90/52 mm Hg.

El médico ordenó solicitó pruebas de sangre y citó a Roberto cuando estuvieran los resultados. Los exámenes revelaron anemia por deficiencia de ácido fólico. El paciente comenzó a tomar un complemento oral de ácido fólico y fue enviado con la enfermera práctica para recibir orientación nutricional.

Roberto es visto por su médico un par de semanas después. Ha aumentado de peso (0.55 kg), e informa que se siente con más energía y que es capaz de realizar el trabajo

Formación de eritrocitos

Los eritroblastos se desarrollan en la médula ósea roja para formar eritrocitos (figura 16-1). Durante la maduración, los eritrocitos pierden el núcleo y el resto de los organelos y adquieren más moléculas de hemoglobina, con lo que incrementan la cantidad de oxígeno que pueden transportar. Los eritrocitos maduros tienen un lapso de vida aproximado de 120 días. Se estima que se destruyen alrededor de 2 millones de eritrocitos por segundo; sin embargo, se produce una cantidad igual para mantener el balance. La producción de eritrocitos es controlada por la hormona eritropoyetina. Otros componentes esenciales para la síntesis de eritrocitos son:

- Hierro.
- Ácido fólico.
- Vitamina B₁₂.

La eritropoyetina es una hormona producida por los riñones, que luego es transportada por la sangre a la médula ósea. Aquí la eritropoyetina estimula la producción de eritrocitos, los cuales pasan entonces al torrente sanguíneo. La producción y liberación de eritropoyetina ocurren a través de un sistema de retroalimentación negativa (figura 7-6).

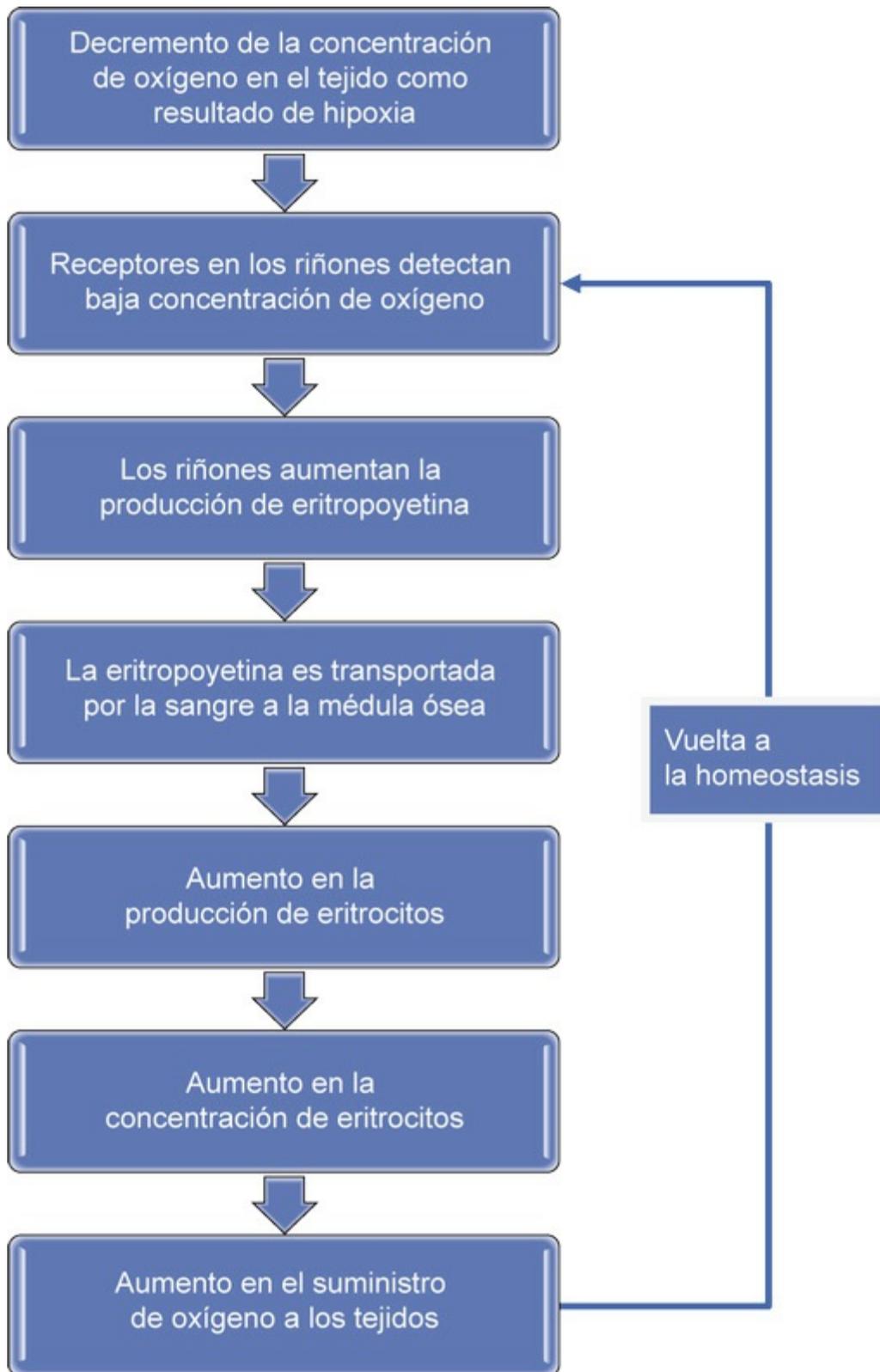


Figura 7-6. Realimentación negativa de la eritropoyesis.

Ciclo de vida del eritrocito

Al carecer de núcleo y otros organelos, el eritrocito no es capaz de sintetizar nuevas estructuras para reponer las que se dañan. La degradación (hemólisis) de eritrocitos es realizada por los macrófagos en el bazo, hígado y médula ósea (figura 7-7). La globina es descompuesta en aminoácidos y reutilizada para la

síntesis de proteínas. El hierro se separa del hemo y se almacena en los músculos y el hígado, y se reutiliza en la médula ósea para producir nuevos eritrocitos. El hemo es la porción de la hemoglobina que se convierte en bilirrubina y es transportado por la albúmina plasmática al hígado y al final es secretado en la bilis. En el intestino grueso, las bacterias convierten bilirrubina en urobilinógeno, parte del cual se reabsorbe en el torrente sanguíneo, donde es convertido en el pigmento amarillo llamado urobilina, que se excreta en la orina, a la que le imprime un color amarillento. El resto del urobilinógeno se elimina en las heces como un pigmento castaño llamado estercobilina.

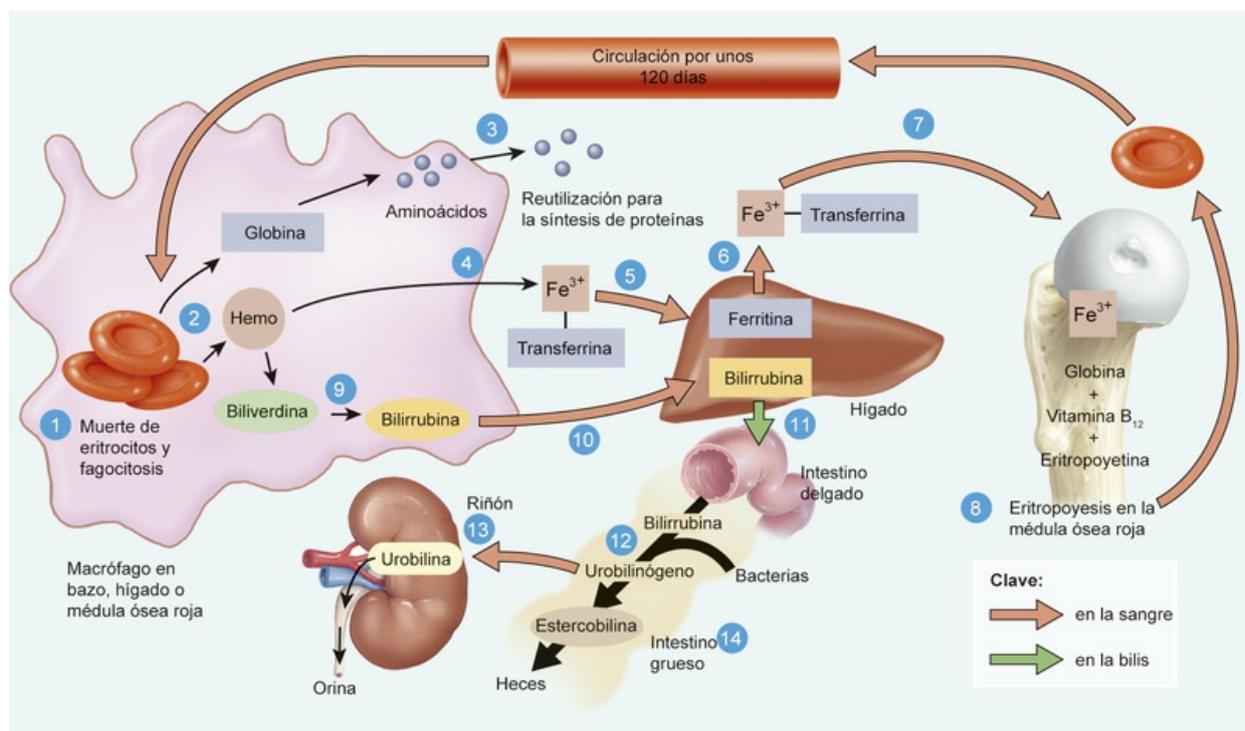


Figura 7-7. Destrucción de eritrocitos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

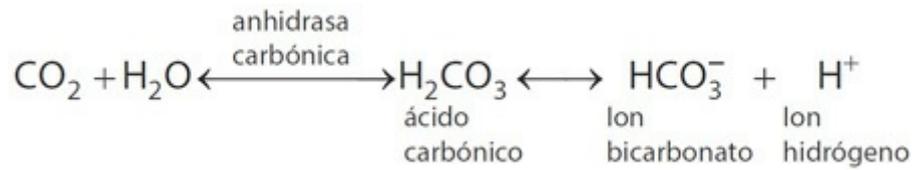
Transporte de gases respiratorios

La principal función de los eritrocitos es transportar oxígeno desde los pulmones hacia los tejidos. El oxígeno en los alvéolos (sacos aéreos) de los pulmones se combina con moléculas de hierro de la hemoglobina para formar oxihemoglobina. Ésta es transportada entonces por la sangre a los tejidos. Cuando la concentración de oxígeno en el eritrocito aumenta éste se torna rojo intenso, y cuando disminuye, el color cambia a rojo azulado oscuro.

Además de transportar oxígeno de los pulmones a los tejidos corporales, los eritrocitos transportan dióxido de carbono de los tejidos a los pulmones. El dióxido de carbono se transporta de tres maneras:

- 10% del dióxido de carbono se disuelve en el plasma.
- 20% del dióxido de carbono se combina con la hemoglobina del eritrocito para formar carbaminohemoglobina.

- 70% del dióxido de carbono reacciona con agua para formar ácido carbónico, el cual es convertido en iones bicarbonato e hidrógeno:



La reacción ocurre principalmente en los eritrocitos, que contienen grandes cantidades de anhidrasa carbónica (una enzima que facilita la reacción). Una vez que se forman los iones bicarbonato, salen de los eritrocitos hacia el plasma.

Leucocitos

Los leucocitos también se conocen como glóbulos blancos. Hay unos 5 000 a 10 000 de ellos en cada milímetro cúbico de sangre. La cifra puede aumentar en infecciones a unos 25 000 por milímetro cúbico. El aumento de los leucocitos se llama leucocitosis, y una concentración anormalmente baja de ellos se denomina leucopenia. A diferencia de los eritrocitos, los leucocitos tienen núcleo, y pueden atravesar las paredes de los vasos sanguíneos para ir a los tejidos. Los leucocitos pueden producir un suministro continuo de energía, a diferencia de los eritrocitos. Son capaces de sintetizar proteínas, y por tanto su lapso de vida va de unos pocos días a años.

Hay dos tipos principales de leucocitos:

- Granulocitos (contienen gránulos en el citoplasma):
 - Neutrófilos.
 - Eosinófilos.
 - Basófilos.
- Agranulocitos (pese a su nombre, contienen unos pocos gránulos en el citoplasma):
 - Monocitos.
 - Linfocitos.

Neutrófilos

Los neutrófilos son los leucocitos más abundantes y tienen una función importante en el sistema inmunitario. Representan alrededor de 60 a 65% de los granulocitos y son fagocitos. Tienen unos 10 a 12 μm de diámetro y son capaces de ingerir microorganismos. Contienen lisozimas; por lo tanto, su principal función es proteger el cuerpo de cualquier material extraño. Pueden cruzar las paredes de los vasos sanguíneos mediante un proceso llamado diapédesis, y son fagocíticos en forma activa. Un neutrófilo inactivo dura unas 12 h, mientras que uno activo puede durar 1 a 2 días. Los neutrófilos son las primeras células inmunitarias en llegar a un sitio de infección, por un proceso conocido como **quimiotaxis**. La deficiencia de neutrófilos se llama **neutropenia**, que puede ser congénita o adquirida; por ejemplo, en determinados tipos de anemia y leucemia, o como efecto secundario de la quimioterapia. Dado que los neutrófilos son una parte muy importante de la reacción inmunitaria, un bajo recuento de neutrófilos causa inmunodeficiencia.

El núcleo de los neutrófilos es multilobulado (figura 7-8). El número de neutrófilos aumenta en:

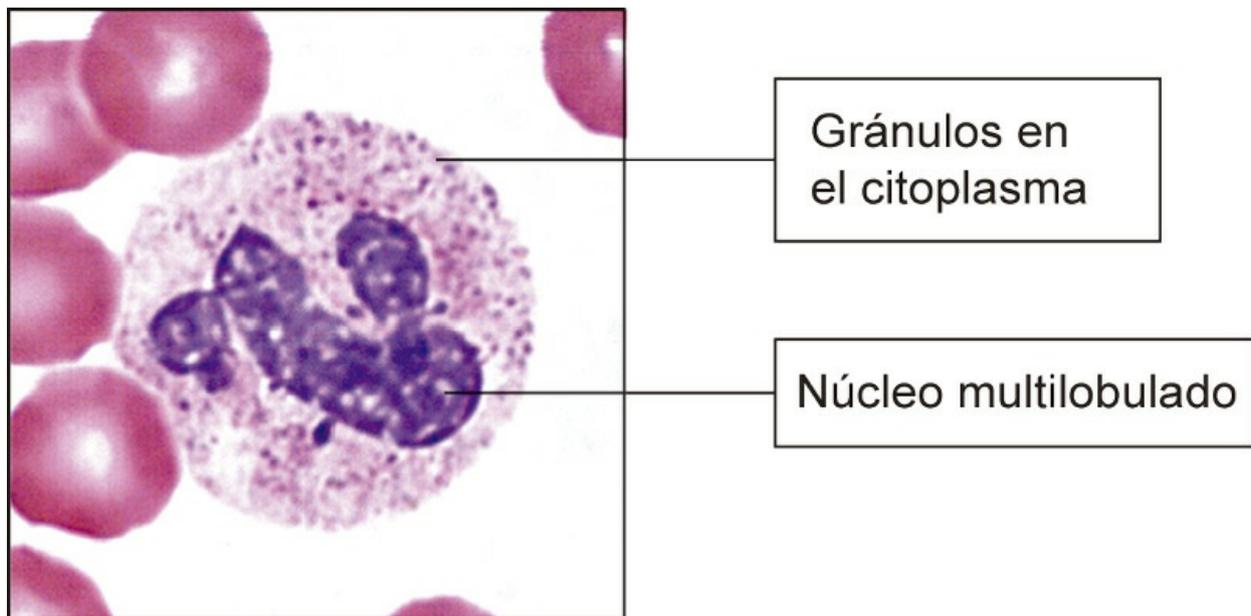


Figura 7-8. Neutrófilo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Embarazo.
- Infección.
- Leucemia.
- Trastornos metabólicos, como la gota aguda.
- Inflamación.
- Infarto de miocardio.

Eosinófilos

Éstos constituyen alrededor del 2 a 4% de los granulocitos y tienen núcleo en forma de B (figura 7-9). Como los neutrófilos, también migran desde los vasos sanguíneos y tienen 10 a 12 μm de diámetro. Son fagocitos; sin embargo, no son tan activos como los neutrófilos. Contienen enzimas lisosómicas y peroxidasa en sus gránulos, que son tóxicas para los parásitos, a los que destruyen. La cantidad de eosinófilos aumenta en las alergias (p. ej., fiebre del heno y asma) e infecciones parasitarias (p. ej., infección por tenias).

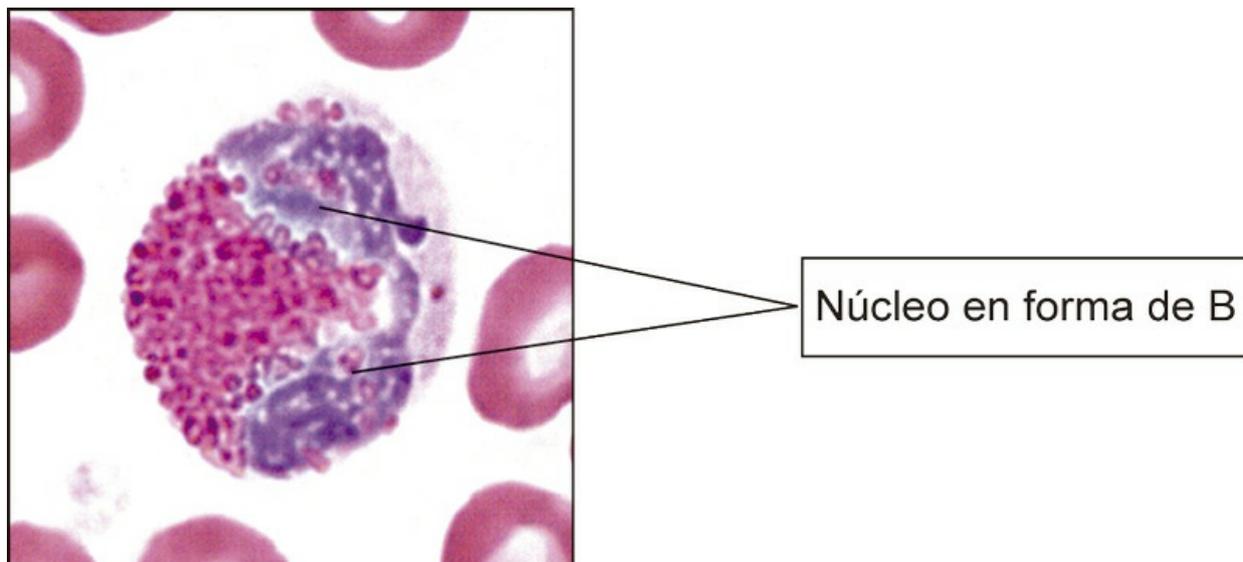


Figura 7-9. Eosinófilo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Basófilos

Los basófilos son los menos abundantes, pues representan alrededor del 1% de los granulocitos, y tienen núcleo lobulado alargado (figura 7-10). Los basófilos tienen 8 a 10 μm de diámetro. En tejidos inflamados se convierten en células cebadas (mastocitos) y secretan gránulos que contienen heparina, histamina y otras proteínas que promueven la inflamación. También secretan mediadores lipídicos, como leucotrienos y varias citocinas. Los basófilos son importantes para conferir inmunidad contra parásitos y también en la reacción alérgica, ya que tienen inmunoglobulina E (IgE) en su superficie y liberan mediadores químicos que causan síntomas alérgicos cuando la IgE se une a su alérgeno específico.

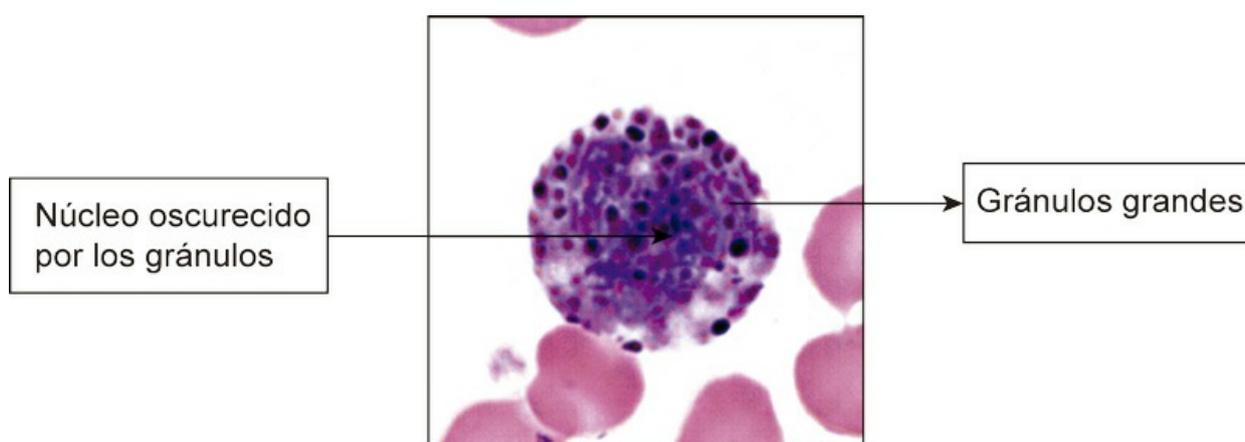


Figura 7-10. Basófilo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Monocitos

Los monocitos representan 5% de los agranulocitos y son leucocitos circulantes (figura 7-11). Se desarrollan en la médula ósea y se propagan por el cuerpo en 1

a 3 días. Tienen unos 12 a 20 μm de diámetro. Su núcleo tiene forma de riñón o de herradura. Algunos migran a los tejidos, donde se convierten en macrófagos y engullen patógenos o proteínas extrañas. Los macrófagos tienen una función vital en la inmunidad y la inflamación, al destruir antígenos específicos.

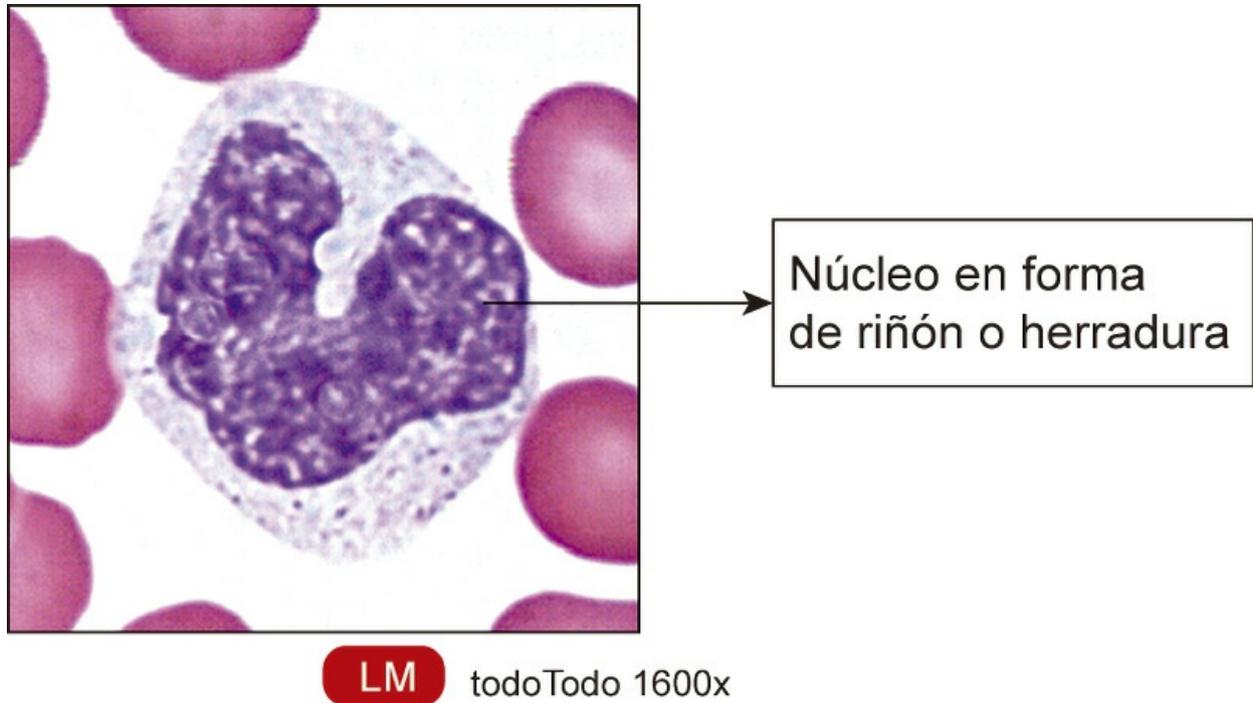


Figura 7-11. Monocitos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Linfocitos

Los linfocitos constituyen 25% de los leucocitos, y la mayoría se encuentra en tejidos linfáticos como los ganglios linfáticos y el bazo (figura 7-12). Los linfocitos pequeños tienen unos 6 a 9 μm de diámetro, mientras que los más grandes miden alrededor de 10 a 14 μm . Reciben su nombre por la linfa, el líquido que los transporta. Pueden salir del aparato circulatorio y volver a ingresar, y su lapso de vida va de unas pocas horas a años. La principal diferencia entre los linfocitos y otros leucocitos es que aquellos no son fagocitos. Se identifican dos tipos de linfocitos, los T y B. Los linfocitos T se originan en el timo (de aquí su nombre), mientras que los linfocitos B se originan en la médula ósea. Los linfocitos T median la reacción inmunitaria celular, que es parte de la autodefensa del cuerpo. Por otra parte, los linfocitos B se convierten en células plasmáticas grandes y producen anticuerpos que se fijan al antígeno.

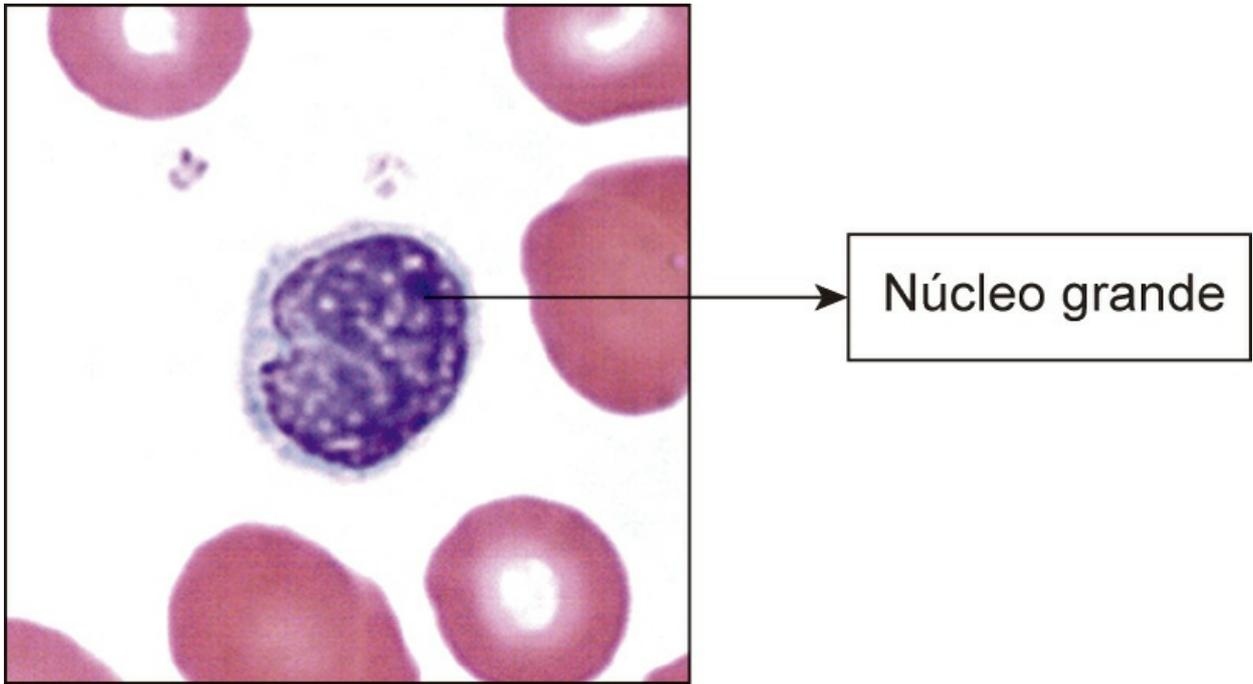


Figura 7-12. Linfocito. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Plaquetas

Las plaquetas son pequeños glóbulos sanguíneos consistentes en algo de citoplasma rodeado por membrana plasmática. Se producen en la médula ósea a partir de megacariocitos y fragmentos de megacariocitos que se desprenden para formar plaquetas. Miden unos 2 a 4 μm de diámetro pero carecen de núcleo, y su lapso de vida aproximado es de 5 a 9 días. Las plaquetas envejecidas y muertas son eliminadas por macrófagos en el bazo y por células de Kupffer en el hígado. La superficie de las plaquetas contiene proteínas y glucoproteínas que les permiten adherirse a otras proteínas, como el colágeno de los tejidos conjuntivos. Las plaquetas son vitales al evitar la pérdida de sangre mediante la formación de tapones de plaquetas, que sellan las soluciones de continuidad en los vasos sanguíneos y liberan sustancias que ayudan a la coagulación sanguínea. Si la cantidad de plaquetas es baja, puede ocurrir sangrado masivo; si por el contrario es excesiva, pueden formarse coágulos sanguíneos con facilidad (trombosis), con el resultado de un accidente cerebrovascular, trombosis venosa profunda, ataque cardíaco o tromboembolia pulmonar.

Hemostasia

La hemostasia es una secuencia de reacciones que detiene el sangrado y puede evitar la hemorragia de los vasos sanguíneos pequeños. La hemostasis tiene una importante función en el mantenimiento de la homeostasis, y tiene tres componentes principales:

- Vasoconstricción.
- Agregación plaquetaria.
- Coagulación.

Vasoconstricción

- Resulta de la contracción del músculo liso de la pared vascular, una reacción llamada espasmo vascular.
- La constricción bloquea los vasos sanguíneos pequeños, con lo que previene el flujo de sangre por ellos.
- El sistema nervioso simpático causa vasoconstricción, que restringe el flujo de sangre durante varios minutos hasta algunas horas.
- Las plaquetas liberan tromboxanos, que pertenecen al grupo lipídico de los eicosanoides. Los tromboxanos son vasoconstrictores y potentes sustancias hipertensoras; facilitan la agregación plaquetaria.

Agregación de plaquetas

- Las plaquetas se adhieren a las fibras de colágeno expuestas del tejido conjuntivo de los vasos sanguíneos dañados.
- Las plaquetas liberan adenosin difosfato, tromboxano y otras sustancias que hacen que otras plaquetas en la zona se adhieran, y todas se agregan entre sí para formar un tapón plaquetario. Estos tapones son muy eficaces para evitar la pérdida de sangre en los vasos sanguíneos pequeños, y con madejas de fibrina forman tapones apretados.

Coagulación

La coagulación sanguínea es un proceso importante para mantener la homeostasis. Si el daño del vaso sanguíneo es tan extenso que la agregación plaquetaria y la vasoconstricción no pueden detener el sangrado, el complicado proceso de la coagulación sanguínea comienza con la ayuda de los factores de la coagulación (cuadro 7-2). Los factores de coagulación son un grupo de proteínas esenciales para la coagulación; la mayoría son sintetizados por el hígado y algunos se obtienen de los alimentos.

Cuadro 7-2. Factores de la coagulación sanguínea

| Factor | Nombre común |
|--------|---------------------------------------|
| I | Fibrinógeno |
| II | Protrombina |
| V | Proacelerina, factor lábil |
| VII | Proconvertina |
| VIII | Factor antihemofílico A |
| IX | Factor antihemofílico B |
| X | Trombocinasa, Factor de Stuart–Prower |
| XI | Factor antihemofílico C |
| XII | Factor de Hageman |
| XIII | Factor estabilizante de fibrina |

Las etapas de la coagulación simplificadas implican lo siguiente:

1. La tromboplastinogenasa es una enzima liberada por las plaquetas que se combina con el factor antihemofílico para convertir la proteína plasmática tromboplastinógeno en tromboplastina.
2. La tromboplastina se combina con iones calcio para convertir la proteína plasmática inactiva protrombina en trombina.
3. La trombina actúa como catalizador para convertir la proteína plasmática soluble fibrinógeno en la proteína plasmática insoluble fibrina.
4. Las madejas de fibrina atrapan glóbulos sanguíneos para formar un coágulo.
5. Una vez que se forma el coágulo, ocurre la cicatrización del vaso sanguíneo dañado, lo cual restaura la integridad del vaso.

Se han identificado dos vías que inducen la formación de un coágulo: las vías intrínseca y extrínseca. La vía extrínseca es un sistema de coagulación rápida

que se activa cuando los vasos sanguíneos se rompen y se daña el tejido. La vía intrínseca es más lenta que la extrínseca y se activa cuando las paredes internas de los vasos sanguíneos se dañan.

Consideraciones clínicas

Trastornos de la coagulación

En ocasiones se forma un coágulo dentro de un vaso sanguíneo que no ha sufrido lesión o corte. Por ejemplo:

- Un coágulo que se forma dentro de una arteria que lleva sangre al corazón o al encéfalo es la causa más común de un ataque cardíaco o un accidente cerebrovascular. Las plaquetas se tornan adhesivas y se agregan a placas de ateroma (material adiposo) en los vasos sanguíneos, con lo que activan el mecanismo de la coagulación.
- El flujo sanguíneo lento puede hacer que la sangre se coagule más fácilmente de lo habitual. Es un factor en la trombosis venosa profunda, que es la formación de un coágulo en una vena del miembro inferior.
- Determinadas afecciones genéticas pueden hacer que la sangre coagule con mayor facilidad de lo habitual.
- Algunos medicamentos afectan el mecanismo de la coagulación sanguínea, o incrementan la cantidad de algunos factores de la coagulación, lo que eleva la tendencia a la coagulación.
- Los trastornos hepáticos a veces causan problemas de coagulación, dado que el hígado produce algunas de las sustancias que previenen la formación de coágulos y los disuelven cuando se forman.

Existen varias pruebas; la elegida dependerá de las circunstancias y el problema que se sospeche. Algunas son:

- Biometría hemática: es una prueba que se realiza para el estudio de elementos celulares y no celulares en la sangre.
- Tiempo de sangrado: en esta prueba, se hace un corte diminuto en el lóbulo de la oreja o el antebrazo y se mide el tiempo que tarda en detenerse el sangrado. Un valor normal es de 3 a 8 min.
- Pruebas de coagulación sanguínea: existen varias. Por ejemplo, se realizan con frecuencia las de tiempo de protrombina y tiempo parcial de tromboplastina activada, las cuales miden el tiempo que tarda en formarse un coágulo después de que se agregan a la muestra de sangre determinadas sustancias activadoras.
- Prueba de agregación plaquetaria: mide la rapidez y magnitud con que las plaquetas forman cúmulos (se agregan) después de que se añade una sustancia que estimula la agregación. Determina el funcionamiento de las plaquetas.

Véase Knott (2012).

Administración de medicamentos

Anticoagulantes

Los fármacos anticoagulantes disminuyen la capacidad de la sangre para coagular. Son necesarios si la sangre coagula demasiado, ya que los coágulos pueden bloquear los vasos sanguíneos y provocar trastornos como un accidente cerebrovascular o un ataque cardíaco. Los dos anticoagulantes más comunes son:

- Heparina.
- Warfarina.

Rivaroxaban, dabigatran y apixaban son anticoagulantes nuevos que pueden usarse como alternativa a la warfarina para determinadas afecciones. Algunos de sus efectos adversos son:

- Presencia de sangre en orina o heces.
- Equimosis intensa.
- Sangrado excesivo (hemorragias).
- Sangrado gingival.
- Sangrado nasal prolongado.
- Melena (heces negras).
- Dificultad para respirar/dolor torácico.
- En mujeres, sangrado intenso o mayor de lo habitual en la menstruación, o cualquier otro sangrado vaginal.

Los pacientes que reciben anticoagulantes deben ser vigilados de cerca para verificar que la dosis sea la correcta y que no estén en riesgo de sangrado excesivo (hemorragias). La prueba más común para ello es el índice normalizado internacional.

Véase NHS Choices (2015).

Caso clínico

Hemofilia

Juan Gris tiene 25 años y estudia el tercer año de enfermería. Le encanta jugar fútbol los fines de semana. Un sábado, durante un juego, recibió un golpe en la cara en una jugada. Sufrió una hemorragia nasal que no cesaba, y fue llevado de prisa al departamento de urgencias local.

Fue atendido por una enfermera de priorización, a quien Juan informó que tenía hemofilia. La enfermera anotó los siguientes signos vitales: temperatura 37 °C, pulso 68 latidos por minuto, respiración 16 respiraciones por minuto y presión arterial 116/60 mm Hg. También le informó que se le había indicado evitar los deportes de contacto, pero argumentó que “jugar fútbol está en mi sangre”.

También lo revisó el médico de turno, quien ordenó algunos exámenes de sangre. Los resultados indicaron que los tiempos de protrombina y sangrado eran normales.

Se trató a Juan con desmopresina, una hormona sintética. Las hormonas son sustancias potentes con una amplia gama de efectos en el organismo. La desmopresina actúa estimulando la producción de factor de la coagulación VIII (factor antihemofílico A) y suele inyectarse.

Juan fue hospitalizado para su observación durante la noche y valorar el efecto del tratamiento instituido.

Tipos sanguíneos

Los eritrocitos definen el tipo sanguíneo del individuo. En la superficie de esas células hay marcadores llamados antígenos, tan pequeños que no pueden verse incluso al microscopio. Excepto por los gemelos idénticos, todas las personas tienen diferentes antígenos, que son la clave para identificar los tipos de sangre y deben compatibilizarse en las transfusiones para evitar complicaciones graves. La estructura que define los tipos sanguíneos se conoce como sistema ABO. Si un individuo tiene tipo sanguíneo A, entonces tiene antígenos A sobre sus eritrocitos. El tipo B tiene antígenos B sobre sus eritrocitos, mientras que el tipo O no tiene antígenos y el tipo AB tiene ambos antígenos (Tortora y Derrickson, 2011).

El sistema ABO también comprende anticuerpos en el plasma, los cuales son la defensa natural del organismo contra antígenos extraños. Así, por ejemplo, el tipo sanguíneo A tiene antiB en el plasma, el tipo B tiene antiA, etc. Sin embargo, el tipo AB no tiene anticuerpos y el tipo O tiene ambos (figura 7-13). Si estos anticuerpos se encuentran con los eritrocitos equivocados, los atacarán y destruirán. Éste es el motivo por el que transfundir la sangre equivocada a un paciente puede ser letal.

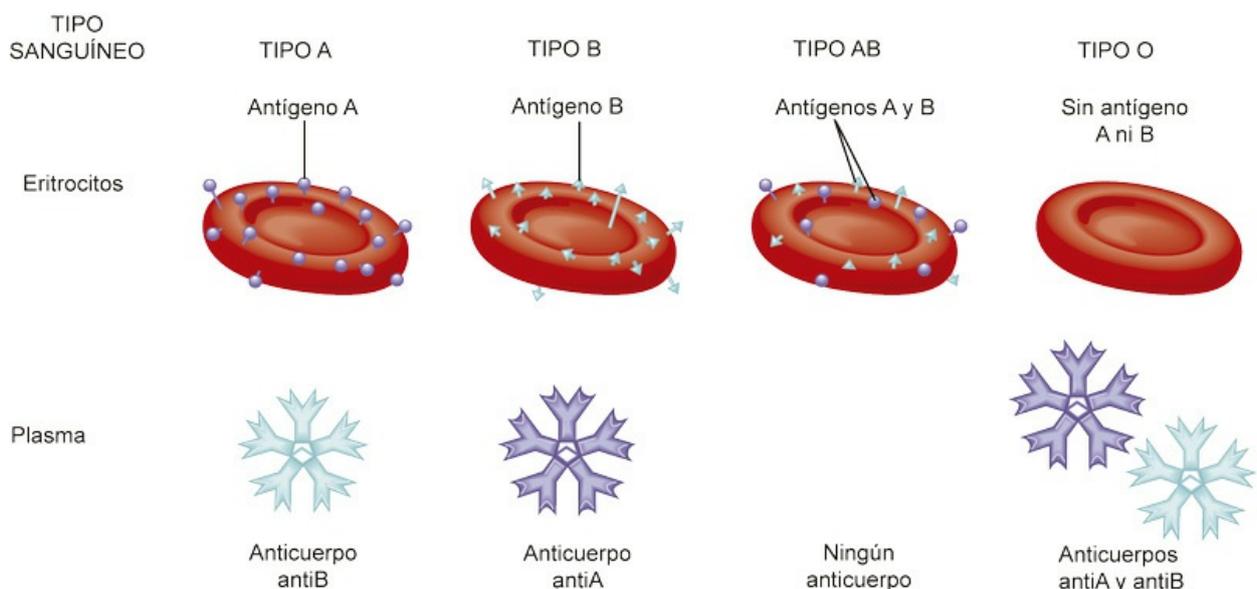


Figura 7-13. Tipos sanguíneos ABO. Fuente: Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Hay un factor más (factor D) que debe considerarse: el sistema del factor Rh (Rhesus). Puede haber antígenos Rh en cada uno de los tipos sanguíneos. No todo el mundo tiene el antígeno Rh en sus eritrocitos; si una persona los tiene se dice que es Rh positiva, y si no los tiene es Rh negativa. Una persona de tipo sanguíneo A y Rh positiva se denomina A⁺, pero si el Rh es negativo entonces es A⁻. Lo mismo se aplica para los tipos B, AB y O. En algunos países, alrededor del 85% de la población es Rh positiva; esto es, posee el factor D en sus eritrocitos. El 15% restante de esta población es Rh negativo, dado que sus

eritrocitos no tienen factor D. Es importante considerar el factor Rh cuando se hacen pruebas de compatibilidad cruzada y se transfunde sangre, para evitar complicaciones innecesarias, como la hemaglutinación (cuadro 7-3).

Cuadro 7-3. Principales electrolitos y sus funciones

| Tipo sanguíneo | Antígenos | Anticuerpos | Puede donar sangre a | Puede recibir sangre de |
|----------------|--------------------------|----------------|----------------------|-------------------------|
| A | Antígeno A | AntiB | A, AB | A, O |
| B | Antígeno B | AntiA | A, AB | B, O |
| AB | Antígeno A Antígeno B | Ninguno | AB | A, B, AB, O |
| O | Ninguno | AntiA AntiB | A, B, AB, O | O |

Vasos sanguíneos

Los vasos sanguíneos son parte del aparato circulatorio, que transporta sangre por todo el cuerpo. Hay tres tipos principales de vasos sanguíneos: las arterias, que llevan la sangre desde el corazón; los capilares, que hacen posible el intercambio real de agua, nutrientes y desechos entre la sangre y los tejidos; y las venas, que llevan sangre desde los capilares de vuelta al corazón (figura 7-14). Todas las arterias, excepto la pulmonar y la umbilical, llevan sangre oxigenada, mientras que la mayoría de las venas llevan sangre desoxigenada de los tejidos de vuelta al corazón, excepto las venas pulmonar y umbilical, que llevan sangre oxigenada. Los capilares forman el aparato microcirculatorio, y es en este sitio donde se intercambian nutrientes, gases, agua y electrólitos entre la sangre y el líquido tisular. Los capilares son vasos diminutos, de paredes muy delgadas, que actúan como puente entre las arterias y las venas. Las paredes delgadas de los capilares permiten el paso de oxígeno y nutrientes desde la sangre hacia el líquido tisular, y el paso de productos de desecho del líquido tisular hacia la sangre.

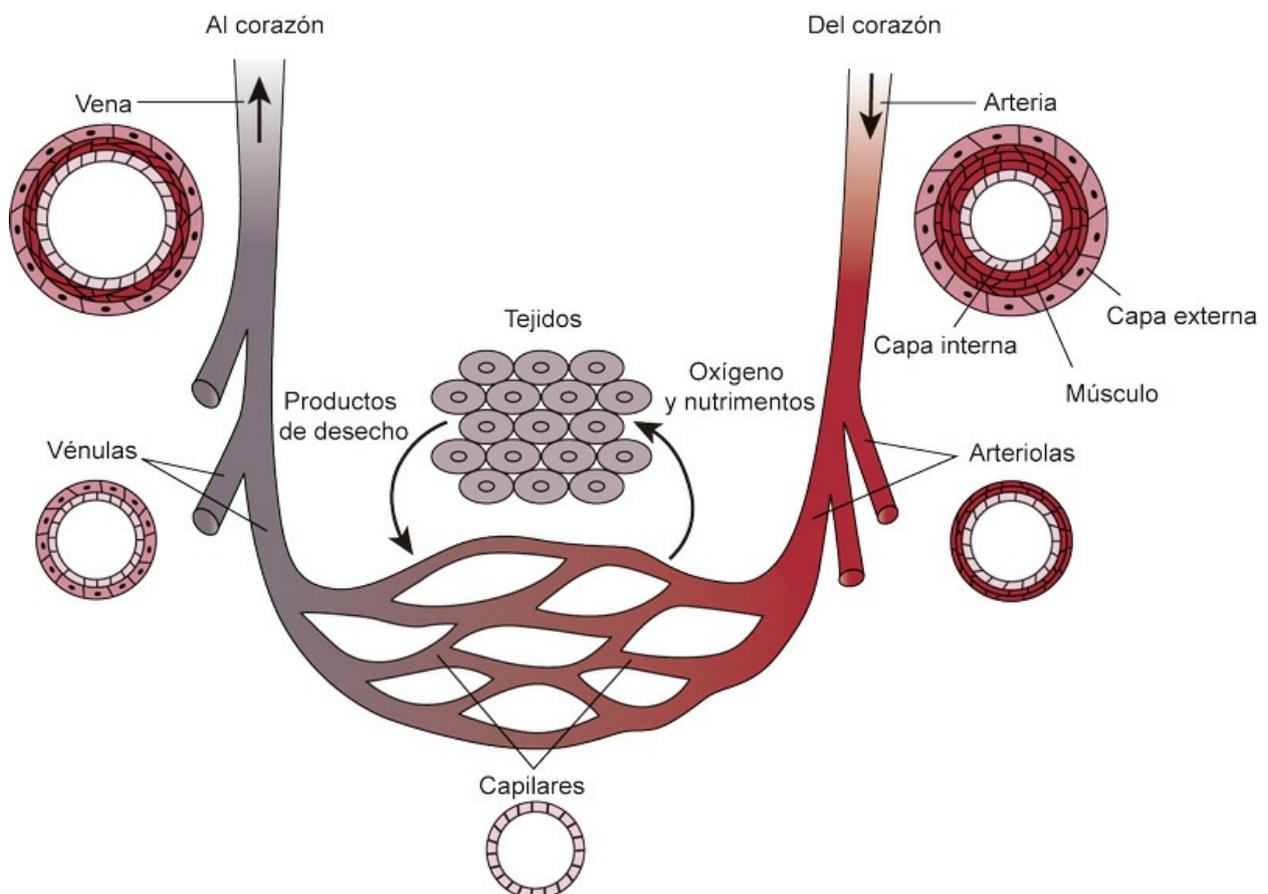


Figura 7-14. Vasos sanguíneos.

Estructura y función de arterias y venas

En la mayoría de los vasos sanguíneos, las paredes constan de tres capas:

- Túnica interna.

- Túnica media.
- Túnica externa (adventicia).

Véase la figura 7-15.

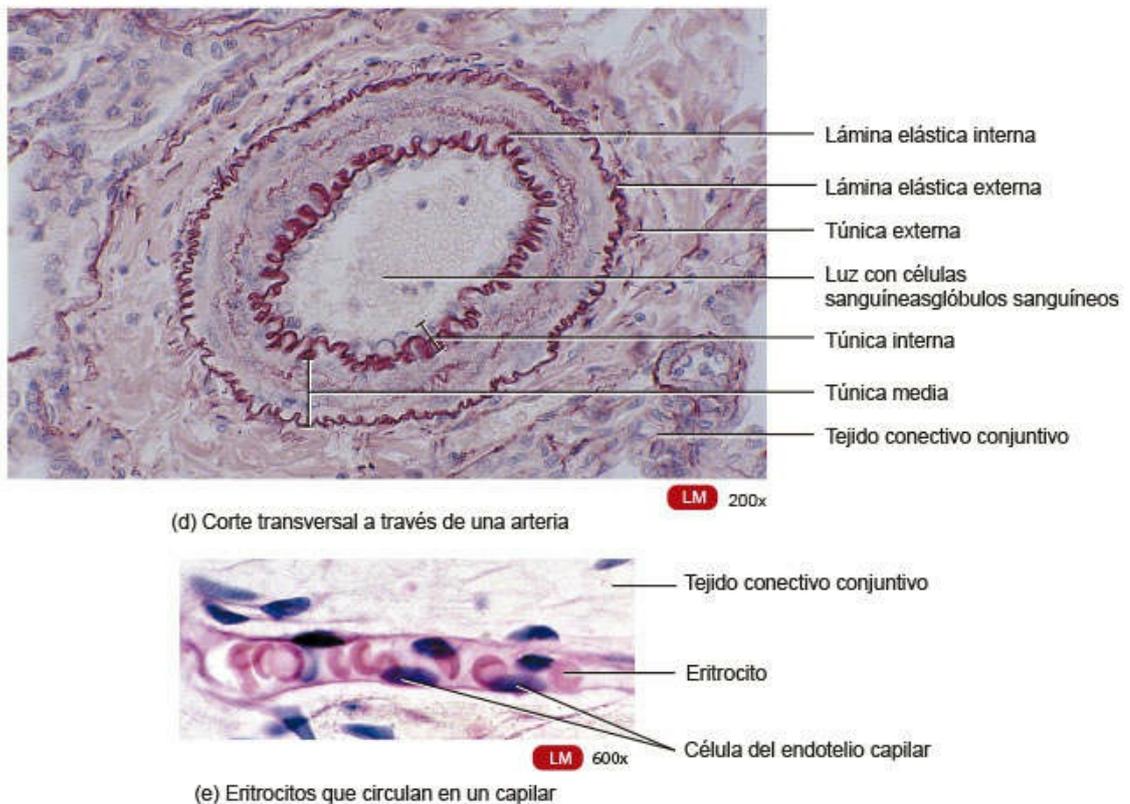
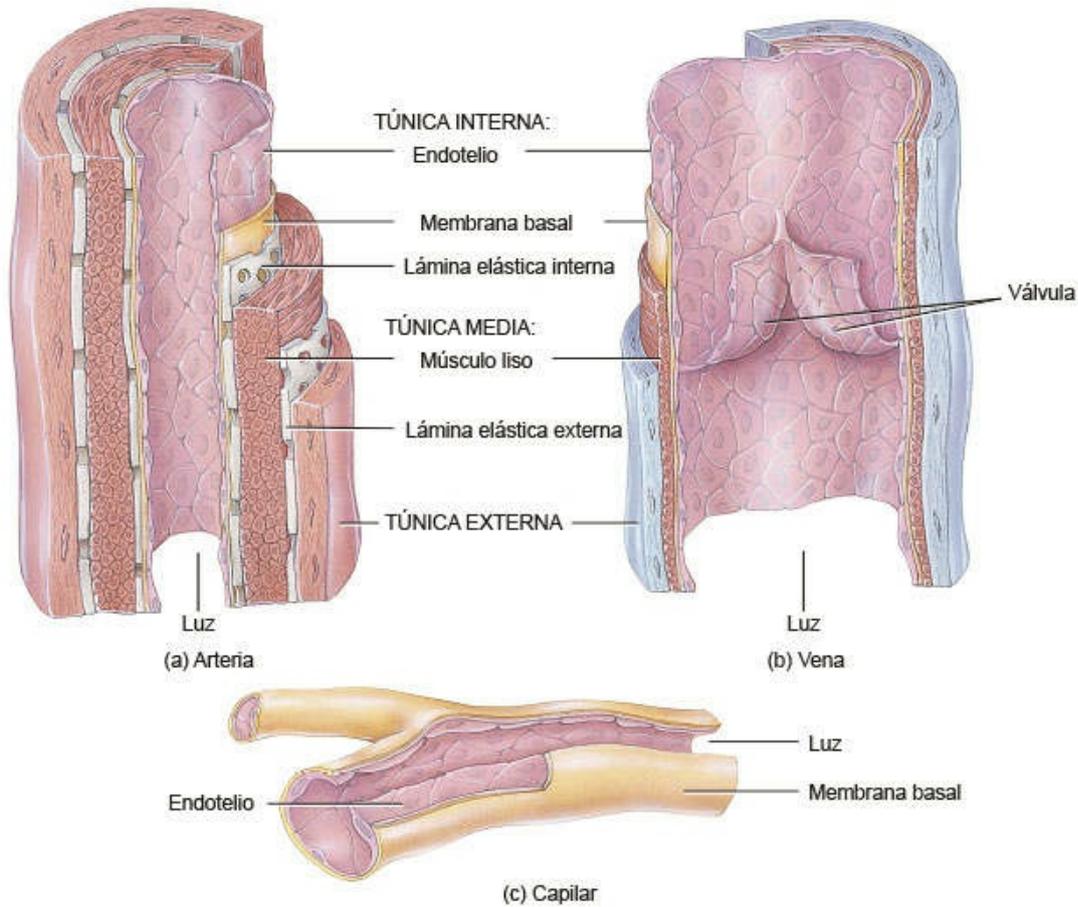


Figura 7-15. (a–e) Capas de un vaso sanguíneo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La **túnica interna** es una capa delgada (sólo unas pocas células de espesor) en

venas y arterias. A veces se le llama íntima. Es esta capa la que da lisura al recubrimiento del vaso, con lo que facilita el flujo de sangre. Está recubierta por células endoteliales y tejidos elásticos; sin embargo, hay diferencia en el espesor entre los vasos sanguíneos:

- Arterias: tejido más elástico.
- Venas: muy poco tejido.
- Capilares: sin capa elástica.

La **túnica media** consiste de fibras elásticas y músculo liso que permiten la vasoconstricción, que modifica el flujo de sangre y la presión arterial. La túnica media es inervada por la rama simpática del sistema nervioso autónomo. Cuando se les estimula, las paredes se contraen, reduciendo la luz e incrementando la presión dentro del vaso sanguíneo:

- Arterias: la túnica media hace variar su diámetro.
- Venas: capa delgada.
- Capilares: no tienen túnica media.

La **túnica externa** (adventicia) consiste de fibras de colágeno y varía en espesor entre los vasos. El colágeno ancla el vaso sanguíneo a los órganos cercanos, con lo que da soporte y estabilidad:

- Arterias: relativamente gruesa.
- Venas: relativamente gruesa.
- Capilares: muy delicada.

Aunque las arterias y las venas tienen capas similares, existen algunas diferencias claras entre estos dos vasos. Véase un resumen en el cuadro 7-4 y la figura 7-16.

Cuadro 7-4. Diferencias entre arterias y venas

| Arterias | Venas |
|--|--|
| Transportan sangre desde el corazón | Transportan sangre hacia el corazón |
| Llevar sangre oxigenada, excepto las arterias pulmonar y umbilical | Llevar sangre desoxigenada, excepto las venas pulmonar y umbilical |
| Tienen luz estrecha | Tienen luz amplia |
| Tienen más tejido elástico | Tienen menos tejido elástico |
| No tienen válvulas | Tienen válvulas |
| Transportan sangre a presión | Transportan sangre a baja presión |

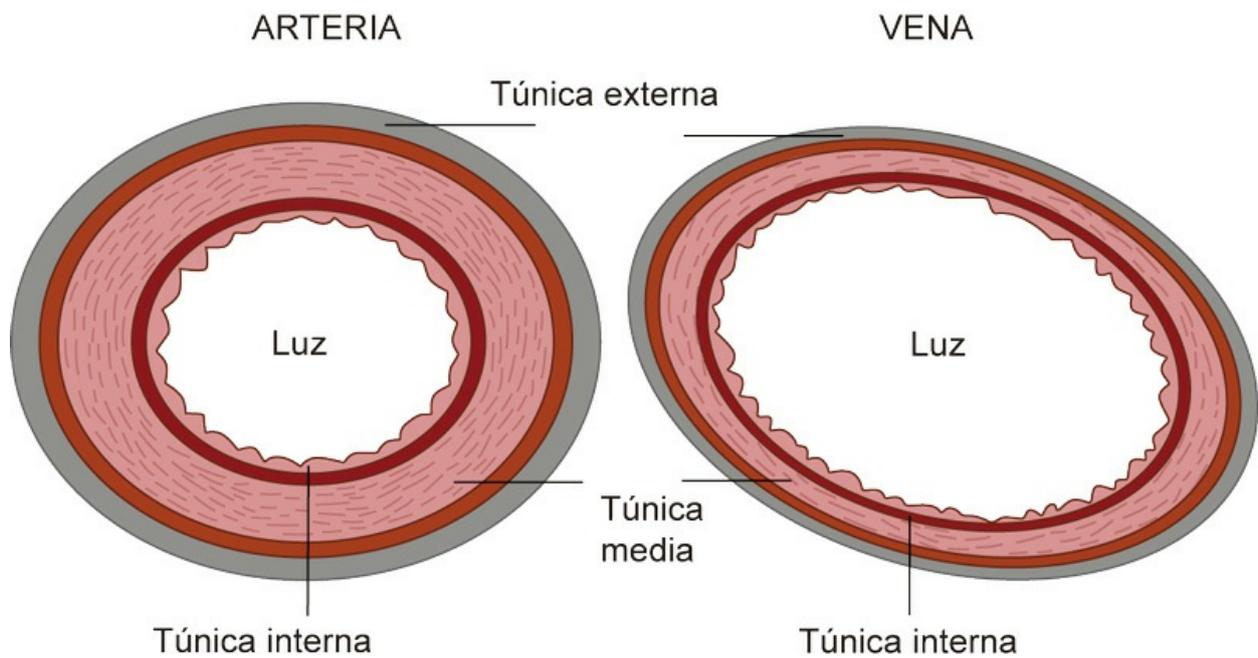


Figura 7-16. Arteria y vena.

Capilares

Los capilares son vasos sanguíneos muy delgados, de unos 5 a 20 μm de diámetro. Hay redes de capilares (figura 7-17) en la mayoría de los órganos y tejidos del cuerpo. Las paredes de los capilares tienen sólo una célula de espesor, lo cual permite el intercambio de materiales entre el contenido del capilar y el líquido tisular circundante. Las paredes de los capilares consisten en una sola capa de células, el endotelio. Esta capa es tan delgada que algunas moléculas como las del oxígeno, agua y lípidos pueden atravesarla por difusión y entrar en los tejidos. Productos de desecho como el dióxido de carbono y la urea pueden difundirse de regreso en la sangre a fin de ser llevadas para su eliminación. Los capilares son tan delgados que los eritrocitos deben deformarse para pasar por ellos en una sola fila.

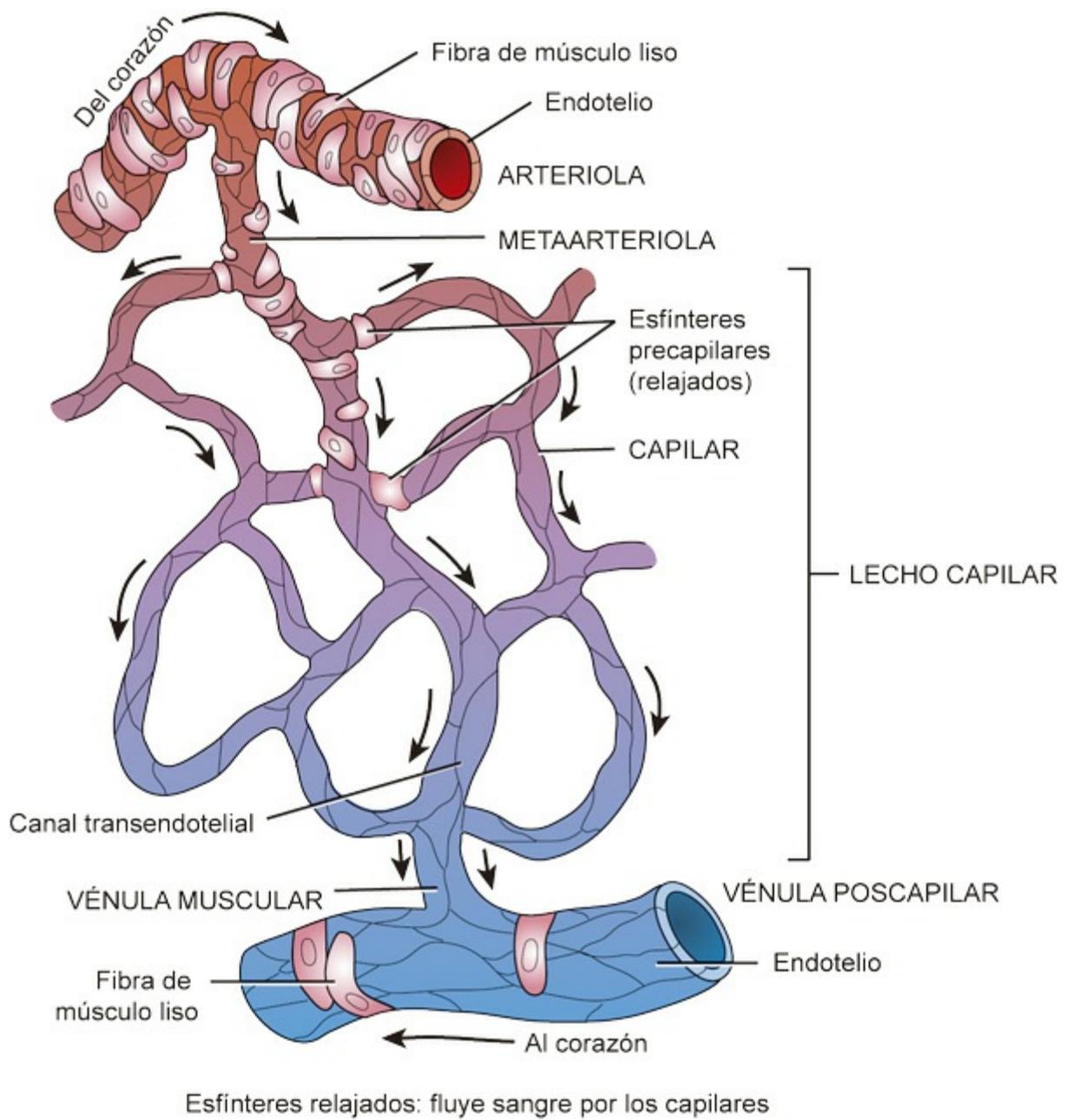


Figura 7-17. Capilar. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Presión arterial

La presión arterial es la presión ejercida por la sangre dentro de un vaso sanguíneo. Es máxima cerca del corazón y decrece a medida que la sangre se aleja de este órgano. Tres factores controlan la presión arterial:

- Regulación neuronal: a través del sistema nervioso autónomo.
- Regulación hormonal: adrenalina, noradrenalina, renina y otras.
- Autorregulación: a través del sistema renina-angiotensina.

Factores fisiológicos que regulan la presión arterial

Varios factores afectan la presión arterial, incluidos:

- Gasto cardiaco, el volumen de sangre bombeado por el corazón en 1 min. El gasto cardiaco depende de la frecuencia cardiaca y del volumen sistólico. La frecuencia cardiaca es el número de latidos cardiacos por minuto. El volumen sistólico es el volumen de sangre, en mililitros, bombeado por el corazón con cada latido.
- Volumen circulante, el volumen de sangre circulante que perfunde los tejidos.
- Resistencia periférica, la resistencia que los vasos sanguíneos oponen.
- Viscosidad sanguínea, una medida de la resistencia al flujo de sangre. La resistencia es ejercida por proteínas plasmáticas y otras sustancias en la sangre.
- Presión hidrostática, la ejercida por la sangre en las paredes de los vasos.

Control de la presión arterial

La presión arterial dentro de las grandes arterias sistémicas debe mantenerse a un cierto nivel a fin de asegurar un riego sanguíneo adecuado a los tejidos. Es mantenida por:

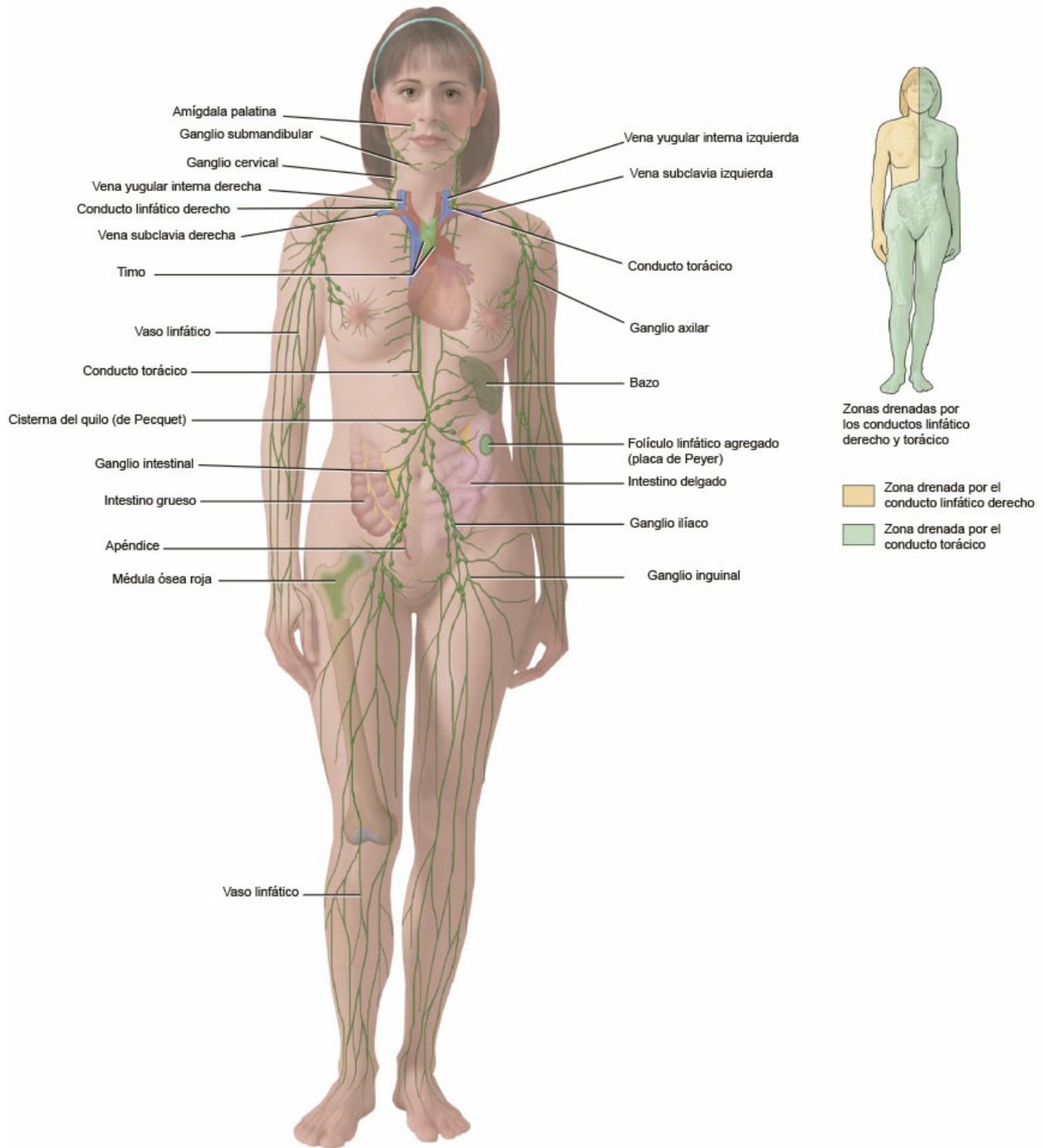
- Barorreceptores situados en el arco de la aorta (cayado aórtico) y el seno carotídeo, que son sensibles a los cambios de presión dentro del vaso sanguíneo. Cuando la presión arterial aumenta, se envían señales al centro cardiorregulador (CCR) en el tallo encefálico (bulbo raquídeo). El CCR aumenta la actividad parasimpática hacia el corazón, reduciendo la frecuencia cardiaca e inhibiendo la actividad simpática de los vasos sanguíneos, lo que ocasiona vasodilatación. Esto reduce la presión arterial. Por otra parte, si la presión arterial desciende, el CCR eleva la actividad simpática hacia el corazón y los vasos sanguíneos, con lo que incrementa la frecuencia cardiaca y la vasoconstricción, con el resultado de un aumento de la presión arterial.
- Quimiorreceptores situados en los cuerpos carotídeo y aórtico ayudan a regular la presión arterial al detectar cambios en los valores de oxígeno, dióxido de carbono y iones hidrógeno. Estos cambios pueden afectar las frecuencias cardiaca y respiratoria.
- Hormonas circulantes, como la vasopresina y el péptido natriurético auricular,

ayudan a regular el volumen sanguíneo circulante, con lo que influyen sobre la presión arterial.

- El sistema renina–angiotensina ayuda a mantener la presión arterial a través de su efecto sobre la vasoconstricción.
- El hipotálamo reacciona a estímulos como la emoción, dolor e ira, y estimula la actividad nerviosa simpática, que afecta la presión arterial.

Sistema linfático

El sistema linfático (figura 7-18) es parte del aparato circulatorio y transporta un líquido claro llamado linfa. El sistema linfático comienza con unos vasos ciegos muy pequeños llamados capilares linfáticos (figura 7-19), que están en contacto con los tejidos circundantes y el líquido intersticial. El sistema linfático consiste de:



Vista anterior de los principales componentes del sistema linfático

Figura 7-18. Sistema linfático. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

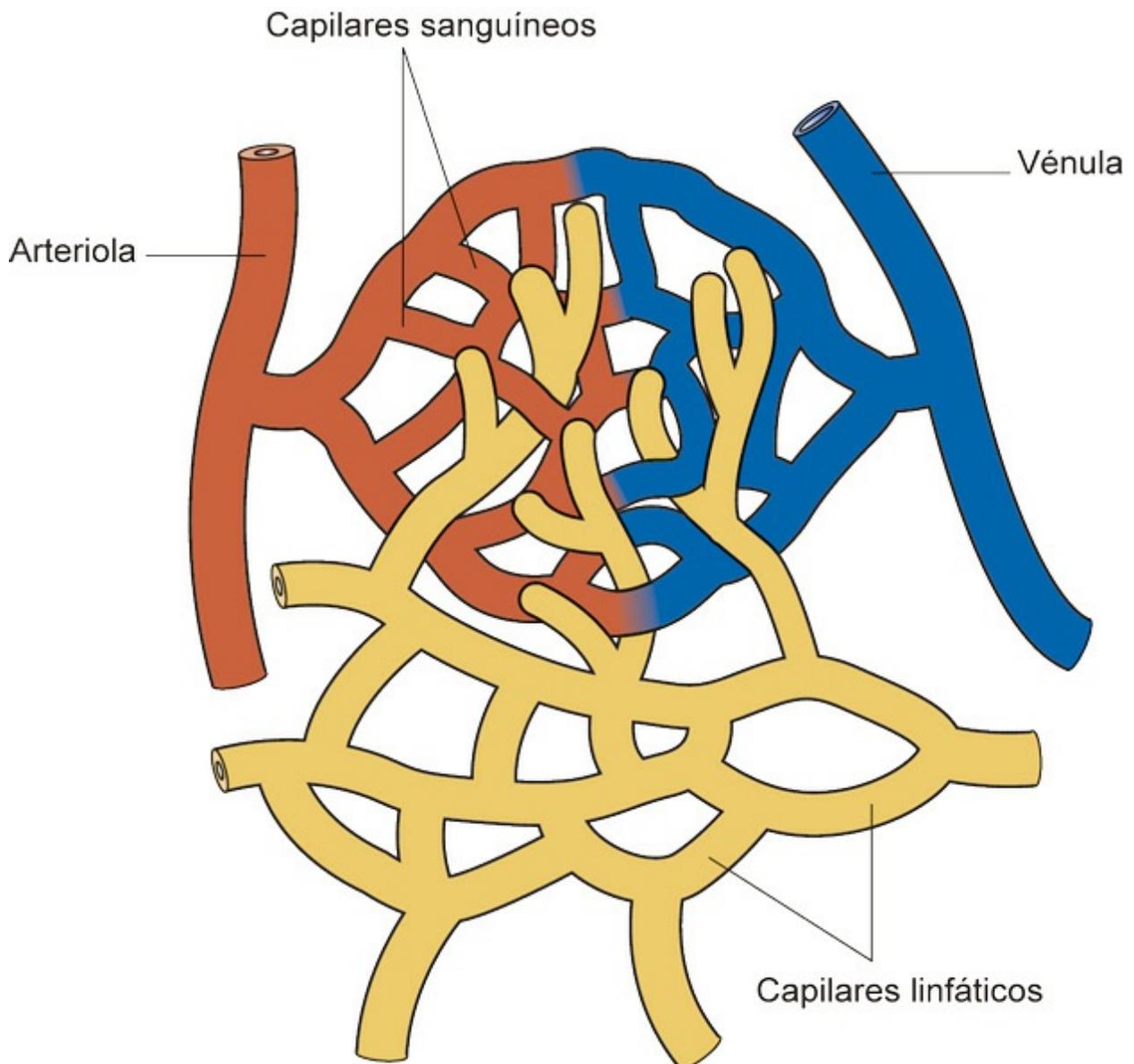


Figura 7-19. Capilares linfáticos.

- Linfa.
- Vasos linfáticos.
- Ganglios linfáticos.
- Órganos linfáticos como el bazo y el timo.

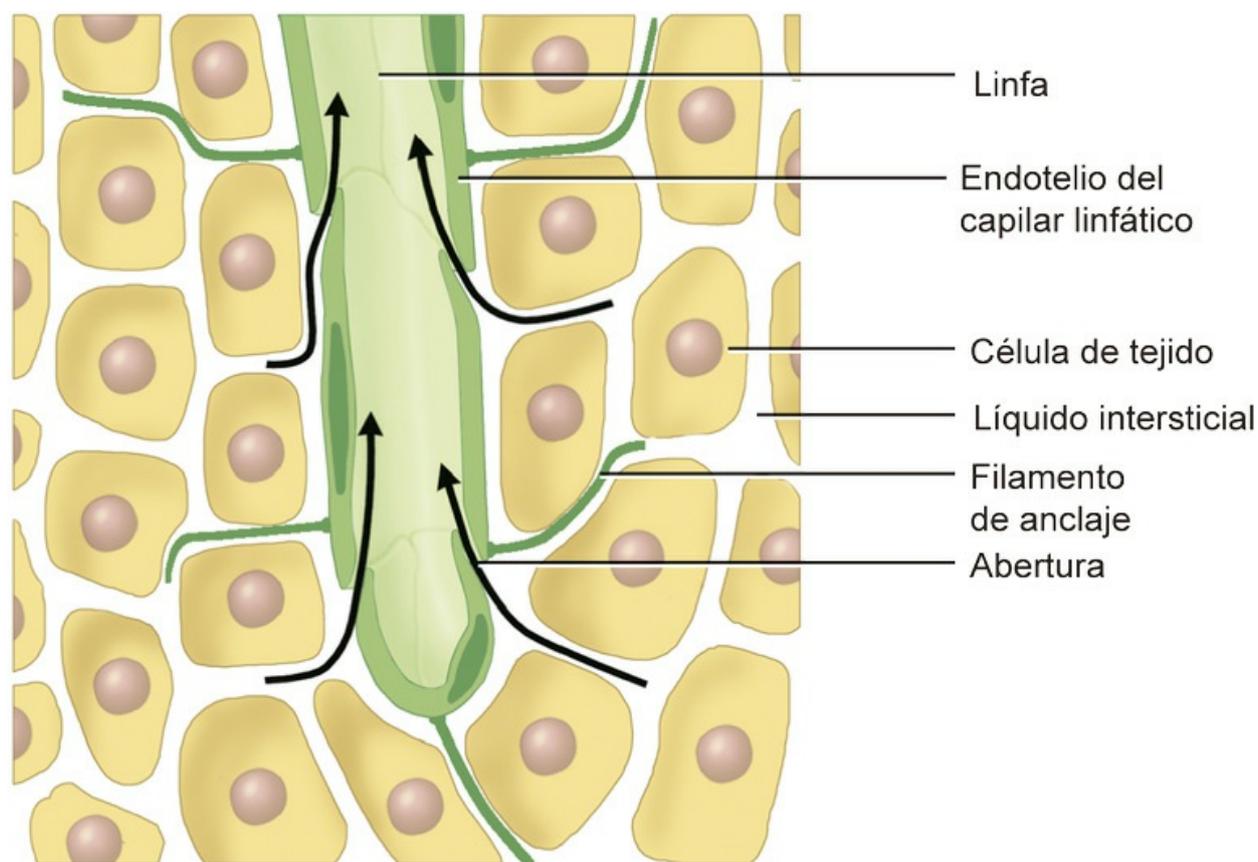
Linfa

La linfa es un líquido claro presente dentro de los capilares linfáticos y con composición similar a la del plasma. La linfa es el ultrafiltrado de la sangre, que se produce en los extremos capilares de los vasos sanguíneos. La presión arterial en el vaso sanguíneo fuerza la salida de líquido y otras sustancias como las proteínas pequeñas (albúmina) de los capilares hacia el espacio tisular como líquido intersticial, que entonces entra en los capilares linfáticos como linfa. El cuerpo contiene 1 a 2 L de linfa, que representa alrededor de 1 a 3% del peso corporal. La linfa transporta proteínas plasmáticas, bacterias y grasa desde el intestino delgado y tejidos dañados hacia los ganglios linfáticos para su

destrucción. La linfa contiene linfocitos y macrófagos, que tienen una importante función en el sistema inmunitario.

Capilares linfáticos y vasos linfáticos grandes

Tanto los vasos sanguíneos como los capilares linfáticos tienen estructura similar, en cuanto a que ambos consisten de un endotelio con una sola capa de células que permite el movimiento de sustancias desde el espacio intersticial hacia los capilares linfáticos (figura 7-19). Sin embargo, los capilares linfáticos son vasos de un solo sentido con un extremo ciego (figura 7-20) en el espacio intersticial. Los vasos linfáticos semejan a las venas en su estructura, pero aquéllos tienen paredes más delgadas y más válvulas. Los vasos linfáticos más grandes tienen numerosas válvulas para evitar el flujo retrógrado de linfa. Los vasos linfáticos se combinan para formar dos grandes conductos, el conducto linfático derecho y el conducto torácico, que drenan en las venas subclavias.



Detalles de un capilar linfático

Figura 7-20. Circulación linfática. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Ganglios linfáticos

Los ganglios linfáticos son órganos con forma de frijol (judía o arveja) localizados a lo largo de los vasos linfáticos. Estos nodos se encuentran en

mayores concentraciones en el cuello, axilas, tórax, abdomen e ingles; hay menos en los huecos de codos y rodillas. Los linfocitos en los ganglios linfáticos filtran sustancias dañinas de la linfa y actúan como defensas específicas del sistema inmunitario. El ganglio linfático está formado por una cápsula fibrosa externa que penetra en el ganglio para formar particiones (trabéculas), con lo que divide el ganglio en compartimientos (figura 7-21). Unos 4 o 5 vasos aferentes pueden entrar en un ganglio linfático; sin embargo, sólo un vaso eferente transporta la linfa fuera del ganglio.

Consideraciones clínicas

Edema

El edema es la retención de agua, que causa tumefacción del tejido afectado. Esta tumefacción puede ocurrir en una parte del cuerpo –por ejemplo, como resultado de una lesión– o ser más general.

Este último suele ser el caso del edema que ocurre como resultado de afecciones como insuficiencia car-díaca o renal. Algunos de los posibles síntomas son:

- Cambios en la coloración de la piel.
- Edema compresible (retención temporal de la marca de un dedo cuando oprime la piel).
- Dolorimiento, en especial de las extremidades.
- Rigidez articular.
- Aumento o pérdida de peso.
- Aumento de la presión arterial y frecuencia del pulso.

El tratamiento incluye el manejo de la causa subyacente, incluidos pérdida de peso, ejercicio y diuréticos para eliminar el exceso de agua.

Véase Robinson (2012).

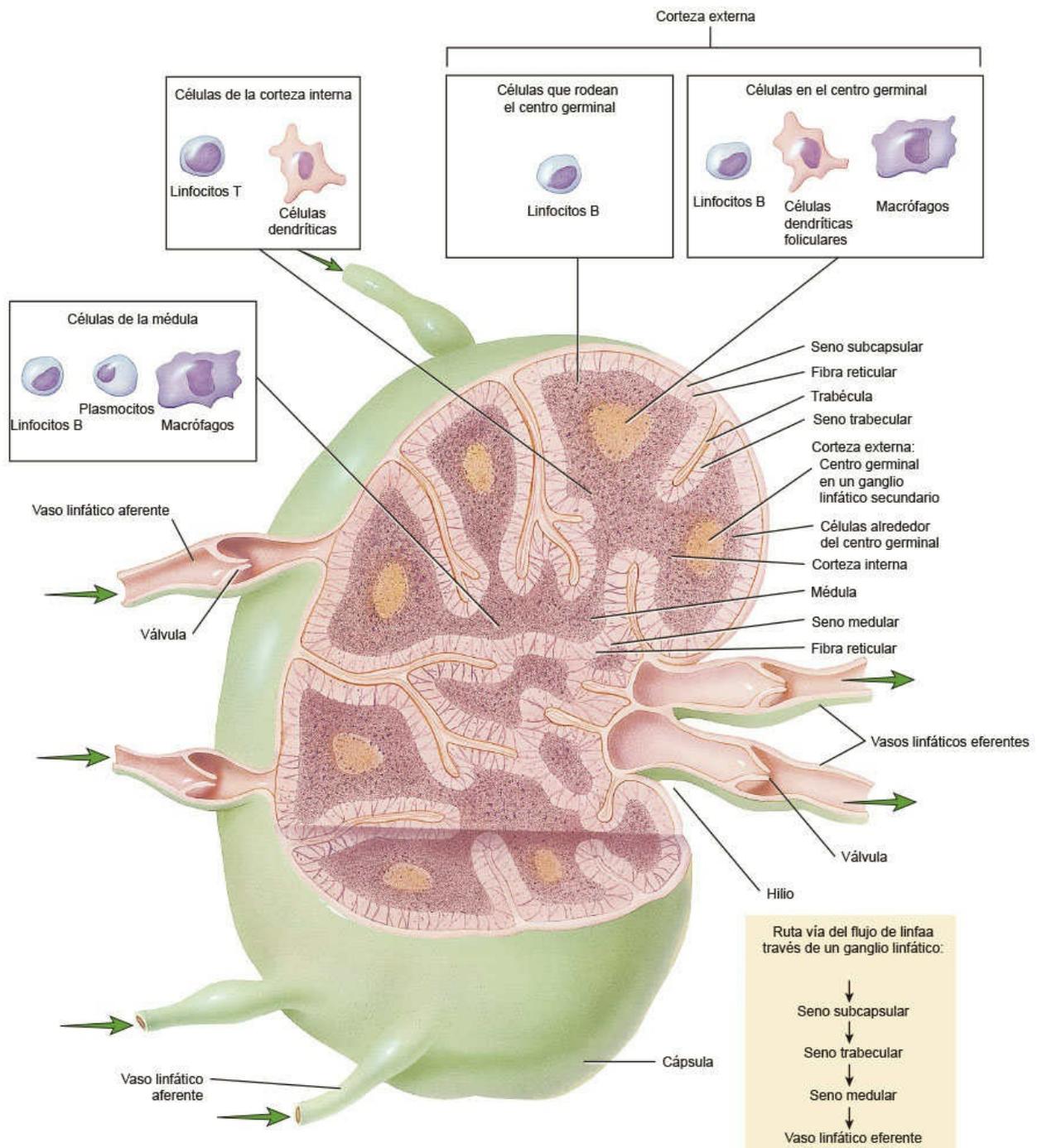


Figura 7-21. Un ganglio linfático. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Administración de medicamentos

ABVD y quimioterapia para el linfoma de Hodgkin

El linfoma de Hodgkin es un cáncer de la sangre que se desarrolla en los ganglios linfáticos. Es la forma más común de cáncer hemático entre adolescentes y adultos jóvenes. Aparece como un tumor sólido en los ganglios del cuello, tórax, axila o ingle.

En la quimioterapia para el linfoma de Hodgkin se aplican combinaciones de diferentes fármacos anticancerosos en vez de usar uno solo. Esto reduce las probabilidades de que el paciente desarrolle resistencia a cualquiera de ellos. También atenúa los efectos adversos, porque se administran dosis más bajas de los medicamentos individuales. La combinación

más utilizada para el linfoma de Hodgkin es la llamada ABVD (adriamicina, bleomicina, vinblastina y dacarbazina). Este esquema suele administrarse en ciclos de 4 semanas, mediante inyección intravenosa los días 1 y 15 de cada ciclo. Los pacientes con linfoma de Hodgkin en fase tardía reciben más ciclos de tratamiento.

Efectos adversos de la quimioterapia:

- Náusea, que puede aliviarse con otros fármacos.
- Alopecia.
- Bajo recuento de leucocitos.

Efectos secundarios del ABVD:

- Problemas cardiacos por la adriamicina.
- Fiebre o exantema por la bleomicina.
- El problema pulmonar llamado fibrosis por bleomicina.
- Úlceras o ampollas por la vinblastina.
- Cefaleas, fatiga o diarrea por la dacarbazina.

Véase la página electrónica de Bloodwise en <https://bloodwise.org.uk/hodgkin-lymphoma-hl>.

Órganos linfáticos

Bazo

Los dos órganos principales del sistema linfático son el bazo y el timo. El bazo es el más grande, con unos 12 cm de largo, 7 cm de ancho y 2.5 cm de espesor. Pesa alrededor de 200 g y tiene color púrpura. Sus principales funciones son:

- Filtración de la sangre: destrucción de eritrocitos viejos y remanentes de la producción de linfocitos fagocíticos y monocitos.
- Almacenamiento de sangre: alrededor de 350 mL.

La estructura del bazo es similar a la de los ganglios linfáticos. Está rodeado por una cápsula de tejido conjuntivo y, como los ganglios linfáticos, está dividido en compartimientos por las trabéculas. Las dos principales secciones funcionales del bazo son la pulpa roja y la pulpa blanca. Está en contacto con el estómago, el riñón izquierdo y el diafragma. El aporte sanguíneo para el bazo proviene de la arteria esplénica, y la vena esplénica transporta la sangre que sale del bazo.

Timo

El timo es una masa gris rosácea de tejido linfático sin conductos, localizada en el tórax. En el recién nacido mide unos 5 cm de largo, 4 cm de ancho y 6 mm de espesor. Crece durante la niñez y se atrofia en la pubertad. Consta de dos lóbulos unidos por tejido conjuntivo, y cada lóbulo está cubierto por una corteza externa y una porción interna llamada médula. Cada lóbulo se divide en lobulillos mediante trabéculas, y cada lobulillo tiene una corteza externa y una médula interna. La corteza contiene muchos linfocitos inmaduros, que migran de la médula ósea al timo para convertirse en linfocitos T especializados (células T). Los linfocitos T maduros migran entonces a la médula, y es de aquí de donde pasan a la circulación general, donde la sangre los transporta al bazo y a los ganglios linfáticos.

Funciones del sistema linfático

- El sistema linfático ayuda al sistema inmunitario a destruir patógenos y filtrar desechos, de modo que la linfa pueda volver sin peligro al aparato circulatorio.
- El sistema linfático elimina el exceso de líquido, desechos, detritos, glóbulos sanguíneos muertos, patógenos, células cancerosas y toxinas provenientes de éstas y de los espacios tisulares entre ellas.
- El sistema linfático también actúa con el aparato circulatorio para suministrar nutrimentos, oxígeno y hormonas de la sangre a las células que componen los tejidos del cuerpo.
- Algunas células en los tejidos producen moléculas de proteína importantes, las cuales son demasiado grandes para ingresar en los capilares del aparato circulatorio, de modo que son transportadas por la linfa al torrente sanguíneo.

Aplicación clínica

Enfermedad de Hodgkin

Dorotea Pérez, de 25 años, es una enfermera calificada que labora en una sala quirúrgica muy activa. Está casada con Pedro, con quien tiene un hijo de dos años. En los últimos tiempos se ha sentido más cansada de lo habitual, y despierta en la noche con sudación y malestar. Pero ella se sobrepone con el estrés del trabajo.

Una noche, mientras se bañaba, se palpó una masa grande en el lado izquierdo del cuello. Alentada por su esposo, Dorotea hizo una cita con su médico general. Durante la entrevista le informó que ha perdido 2 kg en un lapso de dos meses. El médico envió a Dorotea al hospital para que le realizaran pruebas.

La paciente fue enviada a la clínica de hematología. Después de realizar la historia clínica, el hematólogo le ordenó algunas pruebas de sangre y una biopsia de la masa en el cuello. Dorotea volvió al hospital en un par de semanas para recibir los resultados con su esposo. Se les informó que los exámenes de sangre revelaron anemia leve y aumento del recuento de neutrófilos. La biopsia de ganglio linfático mostró células de Reed–Sternberg, pero el pronóstico fue favorable.

El hematólogo recomendó un tratamiento corto de quimioterapia seguido de radioterapia en el sitio afectado. Después de esos tratamientos, Dorotea fue dada de alto bajo la atención de su médico general.

Conclusión

El aparato circulatorio es muy eficiente y complejo. Asegura que todas las células y los tejidos del cuerpo reciban todo lo que necesitan, incluidos oxígeno, nutrientes y electrolitos, para garantizar que todos los aparatos y sistemas funcionen de manera eficiente. La sangre transporta muchas sustancias, como eritrocitos, leucocitos, hormonas y electrolitos, esenciales para el funcionamiento celular. También es fundamental en la defensa del cuerpo contra bacterias y otros organismos, mediante la acción de los leucocitos. Asimismo, la sangre transporta productos de desecho del metabolismo, por ejemplo, urea, dióxido de carbono y ácido úrico.

La sangre que es bombeada desde el ventrículo izquierdo del corazón es transportada por una red de vasos llamadas arterias, y devuelta al corazón por las venas. Hay tres tipos de vasos sanguíneos: arterias, venas y capilares. Las arterias llevan sangre desde el corazón, mientras que las venas la transportan hacia el corazón. Los vasos sanguíneos del aparato circulatorio son un sistema cerrado en el que la sangre no sale ni escapa a menos que estén dañados. Es en el extremo capilar donde los nutrientes y otros productos esenciales para el funcionamiento celular salen de los vasos sanguíneos. Los leucocitos también pueden salir de los vasos sanguíneos en el extremo capilar; sin embargo, los eritrocitos son contenidos dentro del aparato circulatorio.

El sistema linfático también se conoce como circulación secundaria. Transporta el líquido llamado linfa, que es un ultrafiltrado de la sangre. Tiene una importante participación en el sistema inmunitario. La linfa es transportada por el sistema linfático desde todas partes del cuerpo y devuelta al aparato circulatorio mediante los conductos linfático derecho y torácico, que drenan en las venas subclavias.

Glosario

Citoplasma. Líquido en el interior de la célula.

Compartimientos. Espacios.

Difosfato de adenosina. Producto final que resulta cuando el trifosfato de adenosina pierde uno de sus grupos fosfato, localizados en el extremo de la molécula.

Difusión facilitada. Difusión con la ayuda de una proteína de transporte.

Difusión. Forma más común de transporte pasivo de materiales; es el medio por el cual los gases, líquidos y solutos se dispersan al azar y ocupan cualquier espacio disponible, de modo que la distribución sea uniforme.

Electrólitos. Sustancias que se disocian en agua para formar iones.

Endocitosis. Proceso por el cual las células ingieren materiales alimenticios y microorganismos infecciosos.

Exocitosis. Sistema de transporte de materiales fuera de las células.

Extracelular. Espacio fuera de la célula.

Hidrófilo. Afín al agua.

Hidrófobo. Repelente al agua.

Hipertónica. Solución que tiene una gran cantidad de solutos disueltos.

Hipotónica. Solución que tiene una baja concentración de solutos.

Intersticial. Espacio entre las células.

Intracelular Espacio dentro de la célula.

Membrana plasmática. Capa más externa de la célula.

Organelos. Partes estructurales y funcionales de una célula.

Ósmosis. Movimiento de agua a través de una membrana selectivamente permeable, de modo que las concentraciones de las sustancias en el agua son las mismas a ambos lados de la membrana.

Presión osmótica. Presión para impedir el paso de agua hacia una membrana selectivamente permeable.

Proteínas de transporte. Pequeñas moléculas que ayudan al movimiento de iones a través de una membrana celular.

Reacciones químicas. Procesos de formación, cambio o descomposición de moléculas.

Transporte activo. Proceso por el cual se movilizan sustancias contra un gradiente de concentración con consumo de energía celular.

Transporte pasivo. Proceso por el cual se desplazan sustancias en forma espontánea a favor de su propio gradiente de concentración, sin el consumo de energía celular.

Trifosfato de adenosina. Compuesto que aporta energía celular.

Bibliografía

- Dougherty, L. and Lister, S. (2011) *The Royal Marsden Hospital Manual for Clinical Nursing Procedures*, 8th edn. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Jenkins, G. and Tortora, G.J. (2013) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*, vol. 2, 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Knott, L. (2012) *Blood Clotting Tests*. <http://www.patient.co.uk/health/blood-clotting-tests> (accessed 22 November 2015).
- Nair, M. (2013) The blood and associated disorders. In Nair, M. and Peate, I. (eds), *Fundamentals of Applied Pathophysiology – An Essential Guide for Nursing and Healthcare Students*, 2nd edn. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- NHS Choices (2014) *Iron Deficiency Anaemia – Treatment*. <http://www.nhs.uk/Conditions/Anaemia-irondeficiency-/Pages/Treatment.aspx> (accessed 22 November 2015).
- NHS Choices (2015) *Anticoagulant Medicines*. <http://www.nhs.uk/conditions/anticoagulant-medicines/Pages/Introduction.aspx> (accessed 22 November 2015).
- Robinson, A. (2012) *Oedema (Swelling)*. <http://www.patient.co.uk/health/oedema-swelling> (accessed 22 November 2015).
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2012) *Principles of Anatomy and Physiology*, 13th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Lecturas adicionales

Linfoma no Hodgkin: rituximab

<http://guidance.nice.org.uk/TA65>

Guía del National Institute for Health and Care Excellence (NICE) para el uso de rituximab en el tratamiento del linfoma no Hodgkin agresivo.

Anemia ferropénica

<http://cks.nice.org.uk/anaemia-iron-deficiency#!scenariorecommendation:6>

Recomendación del National Institute for Health and Care Excellence para el tratamiento y manejo de la anemia ferropénica.

Trastornos de la coagulación sanguínea

<http://www.patient.co.uk/doctor/bleeding-disorders>

Puede usarse este enlace para investigar más sobre los trastornos de la coagulación. Proporciona información sobre investigaciones, diagnóstico, tratamiento y manejo.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Cuál es el pH normal de la sangre?
 - (a) 7.45
 - (b) 7.35
 - (c) 7.00
 - (d) 8.02
2. La proteína plasmática más abundante en la sangre es:
 - (a) Albúmina.
 - (b) Globulina.
 - (c) Aminoácidos.
 - (d) Factores de la coagulación.
3. El flujo de sangre a la piel:
 - (a) Aumenta con el estrés.
 - (b) Se controla cuando el pH de la sangre desciende.
 - (c) Aumenta con la temperatura ambiental.
 - (d) Aumenta en caso de deficiencia de ADH en el torrente sanguíneo.
4. ¿Cuál de los siguientes enunciados acerca de las venas *no* es cierto?
 - (a) Las válvulas venosas se forman a partir de la túnica media.
 - (b) El volumen de sangre en las venas es mayor que en las arterias en cualquier momento dado.
 - (c) Las venas tienen capas musculares más delgadas que las arterias.
 - (d) Las venas llevan sangre desde el corazón.
5. El intercambio de nutrimentos y gases ocurre en:
 - (a) Las arterias.
 - (b) Los capilares.
 - (c) Las venas.
 - (d) Las arteriolas.
6. Todas las arterias transportan sangre oxigenada, excepto:
 - (a) La arteria pulmonar.
 - (b) La arteria braquial.
 - (c) La arteria cefálica.
 - (d) La arteria cerebral.
7. El lapso de vida aproximado de un eritrocito es de:
 - (a) 120 días.
 - (b) 90 días.
 - (c) 30 días.
 - (d) 1 año.
8. Los capilares linfáticos son:
 - (a) No permeables.
 - (b) Más permeables que los capilares sanguíneos.
 - (c) Menos permeables que los capilares sanguíneos.
 - (d) Igual de permeables.
9. La linfa sale de los ganglios linfáticos vía:

- (a) El vaso linfático aferente.
 - (b) El vaso linfático eferente.
 - (c) La vena cava inferior.
 - (d) La vena cava superior.
10. La pulpa roja del ganglio linfático consiste principalmente de:
- (a) Monocitos.
 - (b) Plaquetas.
 - (c) Eritrocitos.
 - (d) Linfocitos.

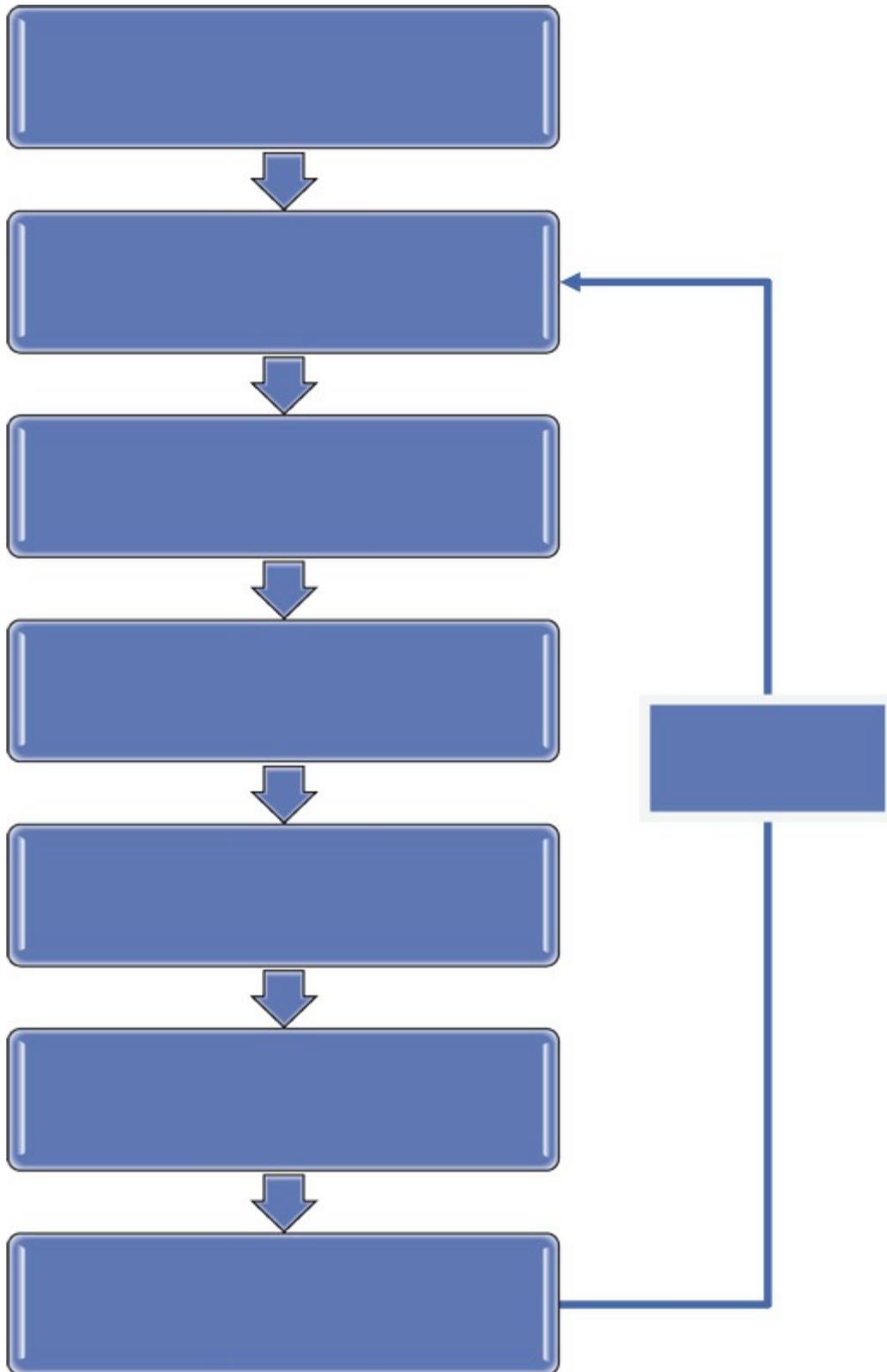
Falso o verdadero

1. La mayor parte de la reserva de hierro del organismo se encuentra en el corazón.
2. La hemoglobina se encuentra en los leucocitos.
3. Ocurre agregación de eritrocitos a causa de la incompatibilidad sanguínea.
4. Los linfocitos son leucocitos, pero no todos los leucocitos son linfocitos.
5. Las arterias tienen una capa media más gruesa que las venas.
6. La presión osmótica es resultado del empuje de líquido contra las paredes de los vasos sanguíneos.
7. La capa más interna de un vaso sanguíneo se llama túnica adventicia.
8. La linfa fluye desde el corazón.
9. Los linfocitos residen en el tejido linfático.
10. Todos los tejidos linfáticos están completamente formados al nacer.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Decremento de la concentración de oxígeno en el tejido como resultado de hipoxia, Receptores en los riñones detectan baja concentración de oxígeno, Los riñones aumentan la producción de eritropoyetina, La eritropoyetina es transportada por la sangre a la médula ósea, Aumento en la producción de eritrocitos, Aumento en la concentración de eritrocitos, Aumento en el suministro de oxígeno a los tejidos, Vuelta a la homeostasis.

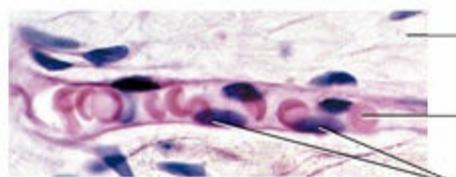
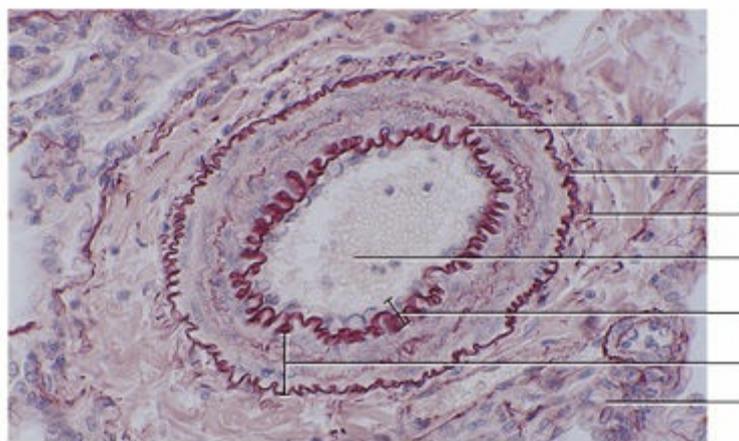
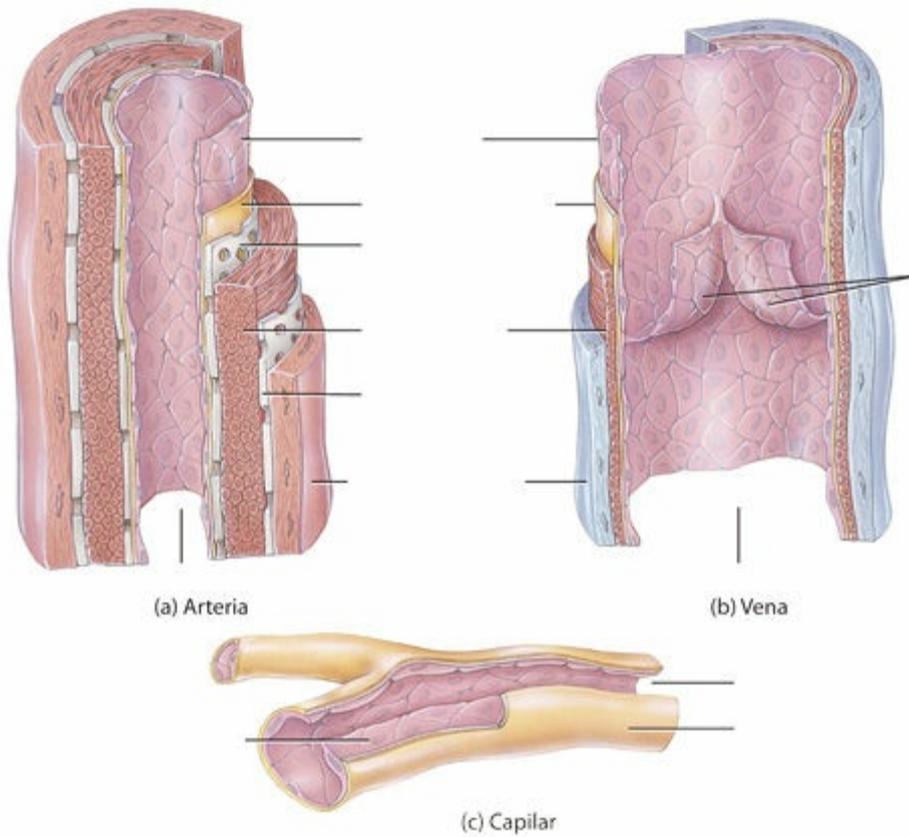


Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

TÚNICA INTERNA, Endotelio, Membrana basal, Válvula, Lámina elástica interna, TÚNICA MEDIA, Músculo liso, Lámina elástica externa, TÚNICA EXTERNA, Luz, Luz, Luz, Membrana basal, Endotelio, Lámina elástica interna,

Lámina elástica externa, Túnica externa, Luz con glóbulos sanguíneos, Túnica interna, Túnica media, Tejido conjuntivo, Tejido conjuntivo, Eritrocito, Células del endotelio capilar



Tipos sanguíneos

Complete el siguiente cuadro sobre los tipos sanguíneos ABO:

| Tipo sanguíneo | Antígenos | Aglutininas | Puede donar a | Puede recibir de |
|----------------|------------|-------------|---------------|------------------|
| Tipo A | Antígeno A | | | |
| Tipo B | | AntiA | | |
| Tipo AB | | | AB | |
| Tipo O | Ninguno | | | |

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | X | D | M | H | S | Q | S | S | L | O | H | T | K | E |
| N | G | C | I | A | O | D | A | E | I | S | E | P | M | Y |
| O | H | O | O | R | T | O | N | S | N | A | M | S | P | S |
| I | L | A | A | R | I | L | E | E | F | T | O | L | L | A |
| S | S | G | V | R | C | I | V | R | A | E | G | F | A | N |
| U | A | U | S | E | O | F | V | A | T | U | L | L | S | G |
| F | L | L | I | O | N | O | I | L | I | Q | O | E | M | R |
| F | U | A | S | T | O | S | S | I | C | A | B | U | A | E |
| I | V | C | O | I | M | A | C | P | O | L | I | C | Y | W |
| D | L | I | M | C | Q | B | O | A | L | P | N | O | N | O |
| D | A | O | S | O | U | B | S | C | B | S | A | C | R | Y |
| O | V | N | O | F | S | T | I | O | C | R | B | I | J | X |
| O | N | L | Y | N | E | F | D | D | R | A | M | T | C | U |
| L | H | C | H | I | V | F | A | V | D | Q | C | O | A | O |
| B | R | M | L | L | V | O | D | X | Z | S | F | S | R | F |

Plasma, Linfocito, Linfático, Venas, Capilares, Válvulas, Ósmosis, Difusión, Viscosidad, Basófilo, Leucocitos, Plaquetas, Hemoglobina, Sangre, Coagulación, Monocitos

Llene los espacios

Sangre

En los adultos, la médula ósea más activa se encuentra en _____, _____, _____, costillas, esternón y cráneo. Las células _____ presentes en la médula ósea se llaman _____. También puede haber células madre en menores cantidades en el _____. Éstas reciben el nombre de _____ periféricas.

El proceso de desarrollo de los glóbulos sanguíneos se denomina hematopoyesis. En su fase más temprana, las _____ comienzan a desarrollarse en la línea de _____ o en la línea de células mielocíticas. En ambas líneas celulares las células madre se convierten en _____, que son aún _____. Durante la última fase del desarrollo celular los blastos maduran como tres tipos de glóbulos sanguíneos, llamados _____, _____ y _____.

blastos, células madre sanguíneas, torrente sanguíneo, sanguíneas inmaduras, células inmaduras, células linfocíticas, pelvis, plaquetas, eritrocitos, huesos del hombro, células madre, células madre, vértebras, leucocitos

Vasos sanguíneos

Las _____ llevan sangre desde el corazón hacia otros órganos. Su tamaño varía. Las _____ tienen _____ especiales en sus paredes. Esto ayuda a complementar el trabajo del corazón, al _____ cuando el músculo cardíaco se relaja. Además, las arterias reaccionan a señales del _____, ya sea constriñéndose o _____.

Las _____ son las arterias más pequeñas del _____. Entregan _____ a los _____. Las arteriolas también son capaces de constreñirse o dilatarse y, al hacerlo, _____ la cantidad de sangre que entra en los capilares.

Los _____ son vasos muy delgados que conectan las _____ con las _____. Tienen paredes muy delgadas que permiten el paso de _____ de la sangre a los _____. Los productos de _____ de los tejidos corporales también pueden pasar a los capilares. Por esta causa, los capilares se conocen como _____.

arterias, arteriolas, arteriolas, sangre, organismo, tejidos corporales, capilares, capilares, controlan, dilatándose, fibras elásticas, vasos de intercambio, arterias más grandes, sistema nervioso, nutrimentos, impulsar la sangre, vénulas, desecho

Sistema linfático

El sistema linfático es similar al aparato circulatorio: los vasos se ramifican por todas partes del cuerpo como las _____ y _____ que llevan la sangre. Pero los vasos del sistema linfático son mucho más _____ y transportan un líquido incoloro llamado _____. La linfa contiene gran

cantidad de linfocitos. El plasma escapa de los capilares para rodear y _____ los _____. Luego drena hacia los _____.

arterias, bañar, tejidos corporales, linfa, vasos linfáticos, delgados, venas

Para profundizar

1. Explique por qué la sangre se considera un tejido conjuntivo.
2. Entre los leucocitos, algunos se agrupan bajo el nombre de granulocitos. Enumere estos leucocitos y sus funciones.
3. ¿Qué es la leucemia mielocítica aguda?
4. Enumere los exámenes que solicitaría para asegurarse de que su paciente reciba la transfusión de sangre correcta.
5. Describa las fuerzas que mueven líquido a través de las paredes de los capilares.
6. Describa los factores fisiológicos que influyen en la presión arterial.
7. Explique el término “hipertensión esencial”.
8. Describa el flujo de líquido linfático a través del sistema linfático.
9. En el cuerpo hay tejidos TLRM (o MALT, en inglés). Explique ese término y la función de esos tejidos.
10. ¿De qué manera la estructura de un ganglio linfático ayuda a los linfocitos y macrófagos en su función protectora?

Afecciones

La siguiente es una lista de afecciones relacionadas con el aparato circulatorio. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada una de esas afecciones. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej., personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Trastornos de los trombocitos

Anemia aplásica

Trombosis venosa profunda

Vasculopatía periférica

Linfoma no Hodgkin



Capítulo 8

Corazón

Carl Clare

Ponga a prueba sus conocimientos previos

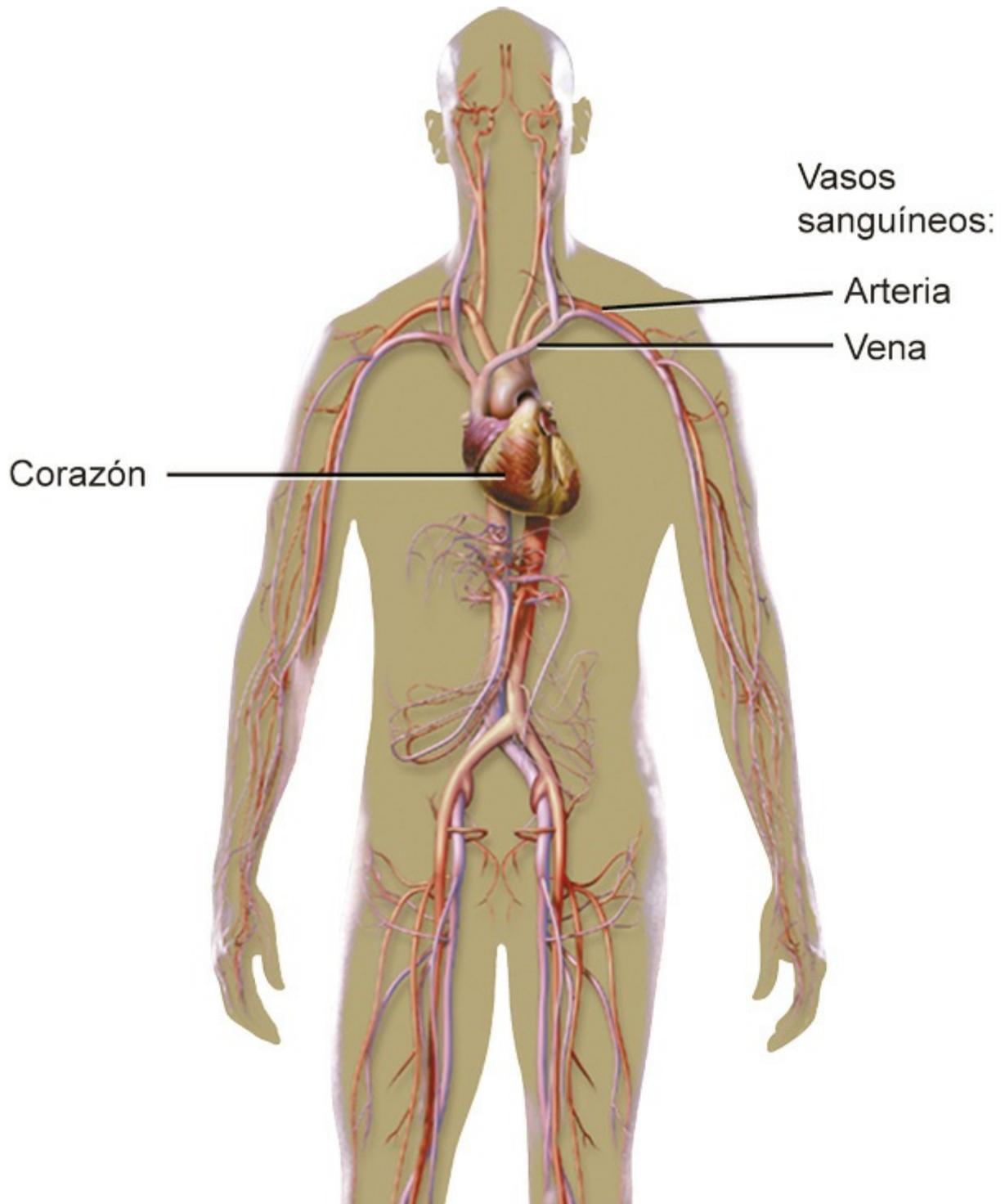
- Nombre las cámaras del corazón
- Describa el flujo sanguíneo en el corazón
- Nombre una de las válvulas cardíacas
- Describa la posición del corazón en el cuerpo
- Comente los factores que influyen en la frecuencia cardíaca

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir la estructura del corazón
- Enumerar las arterias que suministran sangre al músculo cardíaco
- Detallar la excitación eléctrica del corazón
- Describir el potencial de acción cardíaco
- Exponer el ciclo cardíaco

Mapa del cuerpo



Introducción

El corazón es un órgano muscular que tiene cuatro cámaras. Su principal función es bombear sangre por todo el aparato circulatorio pulmonar y la circulación sistémica del resto del organismo. En un día promedio, el corazón late unas 100 000 veces, y nunca descansa. Debe continuar su ciclo de contracción y relajación a fin de aportar un suministro continuo de sangre a los tejidos y asegurar la entrega de nutrimentos y oxígeno, y la eliminación de productos de desecho. El objetivo de este capítulo es revisar la estructura y funciones del corazón, incluidos:

- Tamaño y sitio del corazón.
- Estructura cardíaca en general.
- Músculo y células del corazón.
- Riego sanguíneo del músculo cardíaco.
- Flujo de sangre por el corazón.
- Vías eléctricas del corazón.
- Ciclo cardíaco.
- Factores que afectan el gasto cardíaco.

Tamaño y sitio del corazón

El corazón pesa entre 250 y 390 g en varones y 200 a 275 g en mujeres, y es un poco más grande que el puño cerrado de esta persona, de aproximadamente 12 cm de largo y 9 cm de ancho (Jenkins y Tortora, 2013). Se localiza en la cavidad torácica, en el mediastino medio (entre los pulmones), atrás y a la izquierda del esternón (figura 8-1).

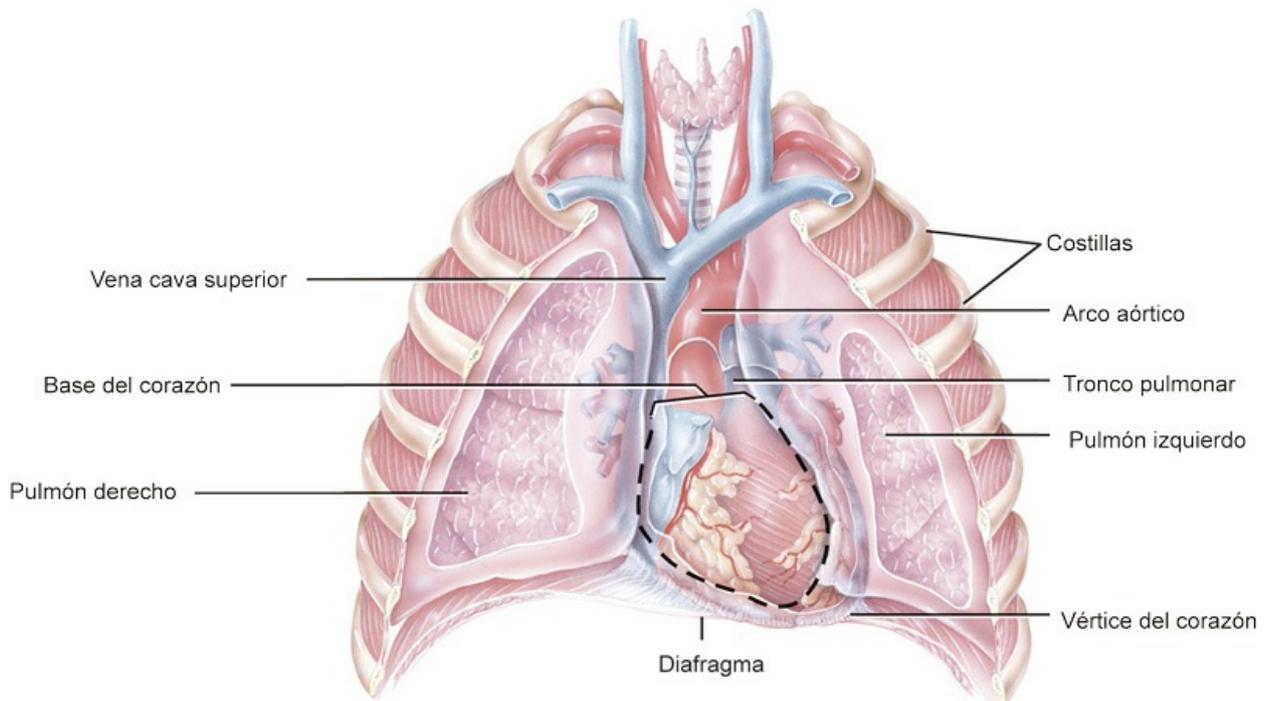


Figura 8-1. Localización del corazón. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El vértice del corazón (la punta) está abajo de la base y descansa en el diafragma. La base del corazón en sí está formada por las cámaras cardiacas conocidas como aurículas.

Estructuras del corazón

Pared cardiaca

Pericardio

El corazón está rodeado por una membrana llamada pericardio (peri = alrededor). A menudo se le considera una capa individual que envuelve al corazón, pero de hecho se trata de dos sacos (el pericardio fibroso y el pericardio seroso) que están estrechamente aplicados uno a otro (figura 8-2). Estos dos sacos tienen estructura muy diferente (Jenkins y Tortora, 2013):

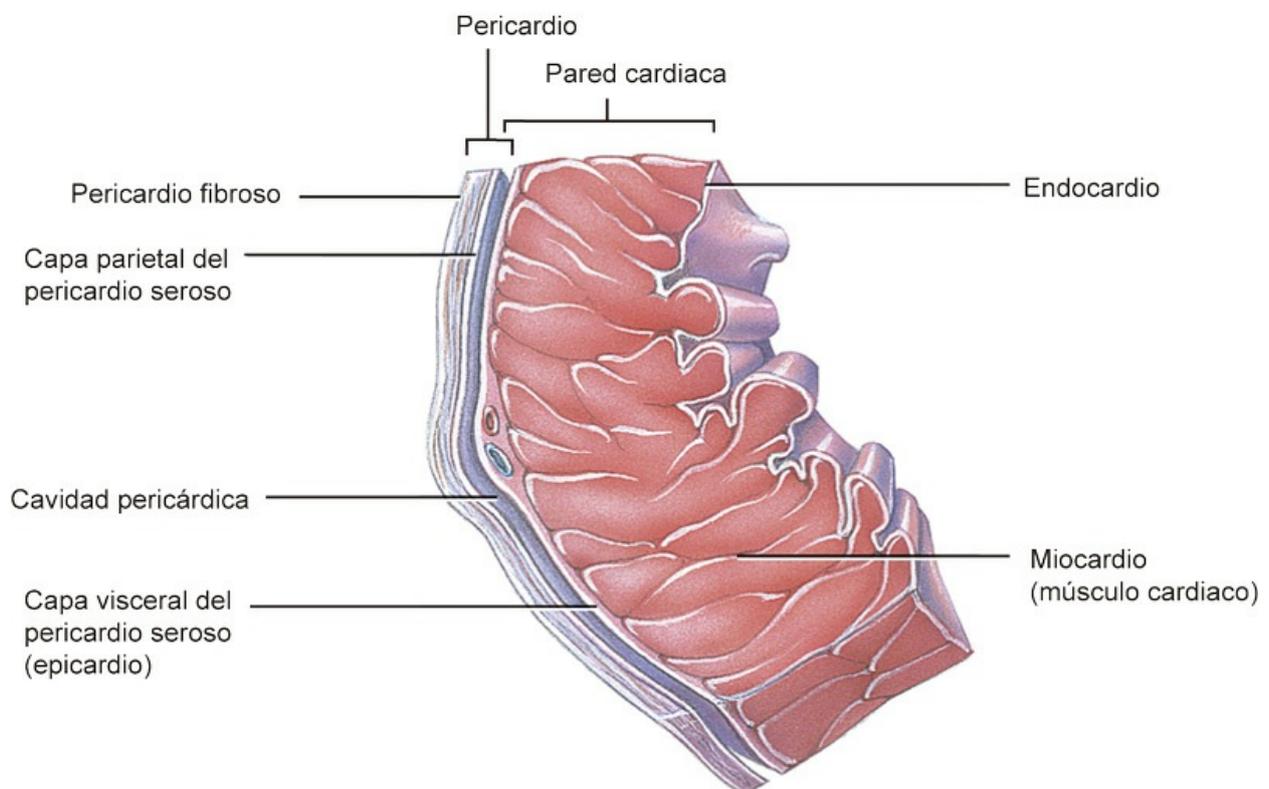


Figura 8-2. Pared cardiaca. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Pericardio fibroso, una capa inelástica resistente de tejido conjuntivo irregular denso. La función de esta capa es evitar el estiramiento excesivo del corazón. También protege a éste y lo fija en su lugar.
- Pericardio seroso, una capa más delgada y delicada que forma una doble capa alrededor del corazón:
 - Pericardio parietal, la capa más externa, fusionada al pericardio fibroso.
 - Pericardio visceral (también llamado epicardio), se adhiere estrechamente a la superficie del corazón.

Entre el pericardio parietal y el visceral hay una delgada película de líquido (líquido pericárdico) que reduce la fricción entre las membranas cuando el corazón se mueve durante su ciclo de contracción y relajación. El espacio que

contiene el líquido pericárdico se conoce como cavidad pericárdica; sin embargo, debe hacerse notar que este “espacio” es tan pequeño que normalmente se le considera un espacio “virtual”.

Miocardio

Bajo el pericardio está el músculo cardiaco, llamado miocardio (mio = músculo). El miocardio constituye la mayor parte del corazón. Es un tipo de músculo que sólo se encuentra en el corazón y está especializado en su estructura y función. El miocardio puede dividirse en dos categorías: en su mayoría se especializa en realizar trabajo mecánico (contracción); el resto se dedica a la tarea de iniciar y conducir impulsos eléctricos (este segundo tipo de célula de músculo cardiaco se revisará más adelante en el capítulo). Las células de músculo cardiaco (miocitos) son mantenidas juntas en haces entrelazados de fibras que están dispuestas en haces espirales o circulares. Comparadas con las fibras de músculo esquelético, las fibras de músculo cardiaco son más cortas y tienen ramificaciones (figura 8-3). Los extremos de los miocitos están unidos a las células adyacentes en un patrón extremo con extremo. En este punto hay un engrosamiento del sarcolema (membrana plasmática) llamado disco intercalar. Estos discos contienen dos tipos de unión:

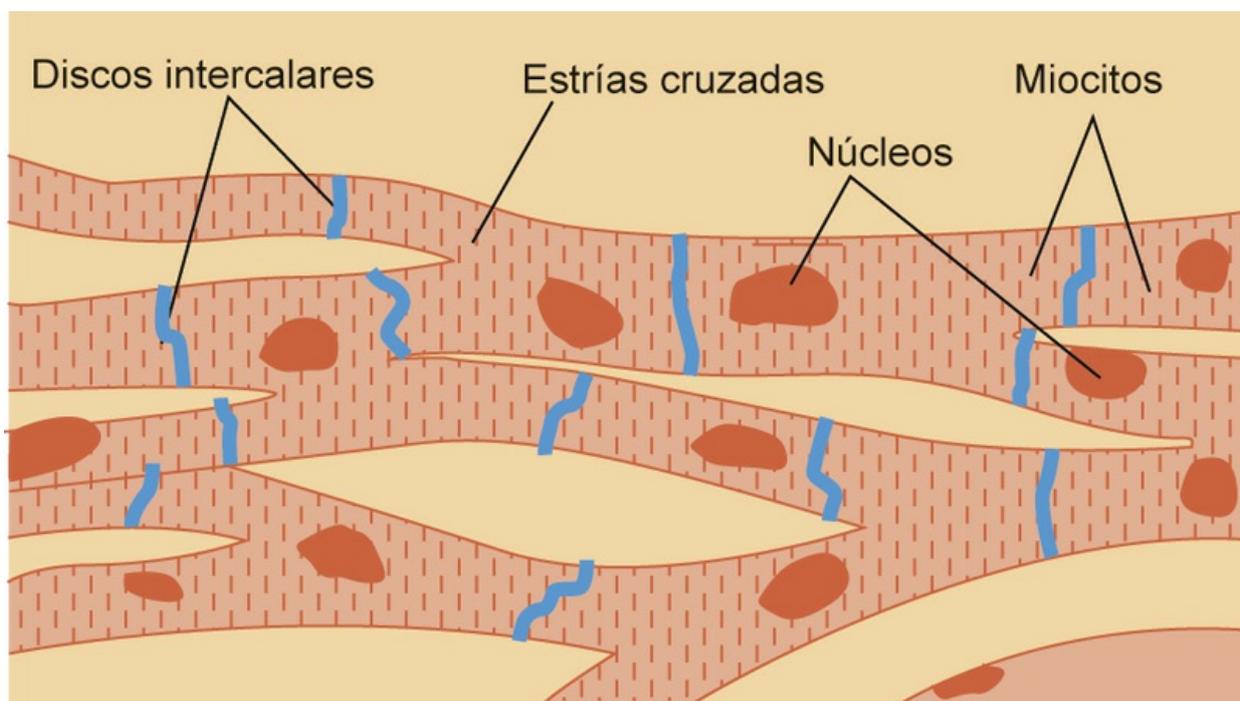


Figura 8-3. Células del músculo cardiaco (miocitos).

- Los desmosomas mantienen las células juntas, de modo que las fibras no se separan.
- Las uniones comunicantes o en hendidura permiten el paso rápido de potenciales de acción (corriente eléctrica) entre células.

A diferencia de las células de músculo esquelético, el miocito contiene un núcleo (o en ocasiones dos) y sus mitocondrias son más grandes y numerosas, lo cual hace que las células del músculo cardíaco sean menos propensas a la fatiga. Sin embargo, el músculo cardíaco requiere un gran suministro de oxígeno y es menos capaz de afrontar las reducciones en la cantidad de oxígeno disponible.

Las células de músculo cardíaco se dividen en dos redes bien delimitadas, separadas por una capa fibrosa, las aurículas y los ventrículos, y estas dos redes se contraen como unidades separadas. Así, las aurículas se contraen por separado de los ventrículos (véase más adelante). Dentro de cada miocito hay largos haces contráctiles de miofibrillas. A su vez, las miofibrillas están constituidas por unidades más pequeñas conocidas como sarcómeras. La contracción del músculo cardíaco se realiza por acortamiento de sus sarcómeras.

Potencial de acción cardíaco

En respuesta a un solo potencial de acción, una fibra de músculo cardíaco desarrolla una contracción prolongada que es unas 10 a 15 veces más larga que la del músculo esquelético, debido a una fase de meseta. Las fibras de músculo cardíaco también tienen un periodo refractario más largo, y por lo tanto no puede iniciarse una nueva contracción sino hasta que la relajación muscular está muy avanzada. Así, en el músculo cardíaco no es posible una contracción sostenida (tetania) (figura 8-4).

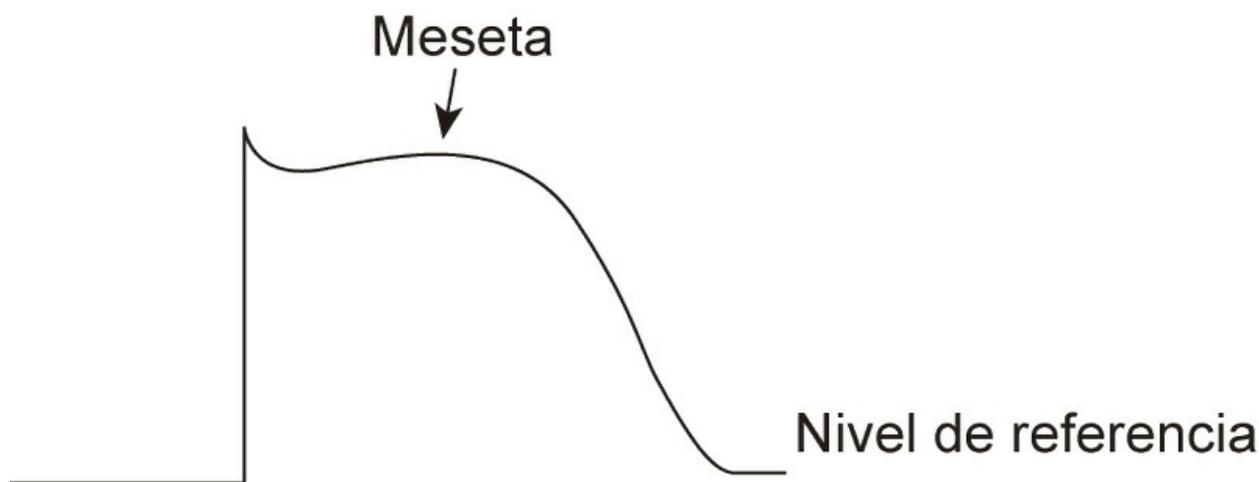


Figura 8-4. Potencial de acción cardíaco.

Endocardio

El endocardio (endo = dentro) es una capa de epitelio liso simple que recubre el interior del músculo cardíaco (figura 8-2) y las válvulas cardíacas. Está unido en estrecha continuidad con el recubrimiento de los grandes vasos sanguíneos que se conectan al corazón.

Cámaras cardiacas

El corazón está dividido en cuatro cámaras (figura 8-5): las aurículas (cámaras de entrada) y los ventrículos (vientres pequeños). Aunque se dice que el corazón es una bomba, es más exacto verlo como dos bombas:

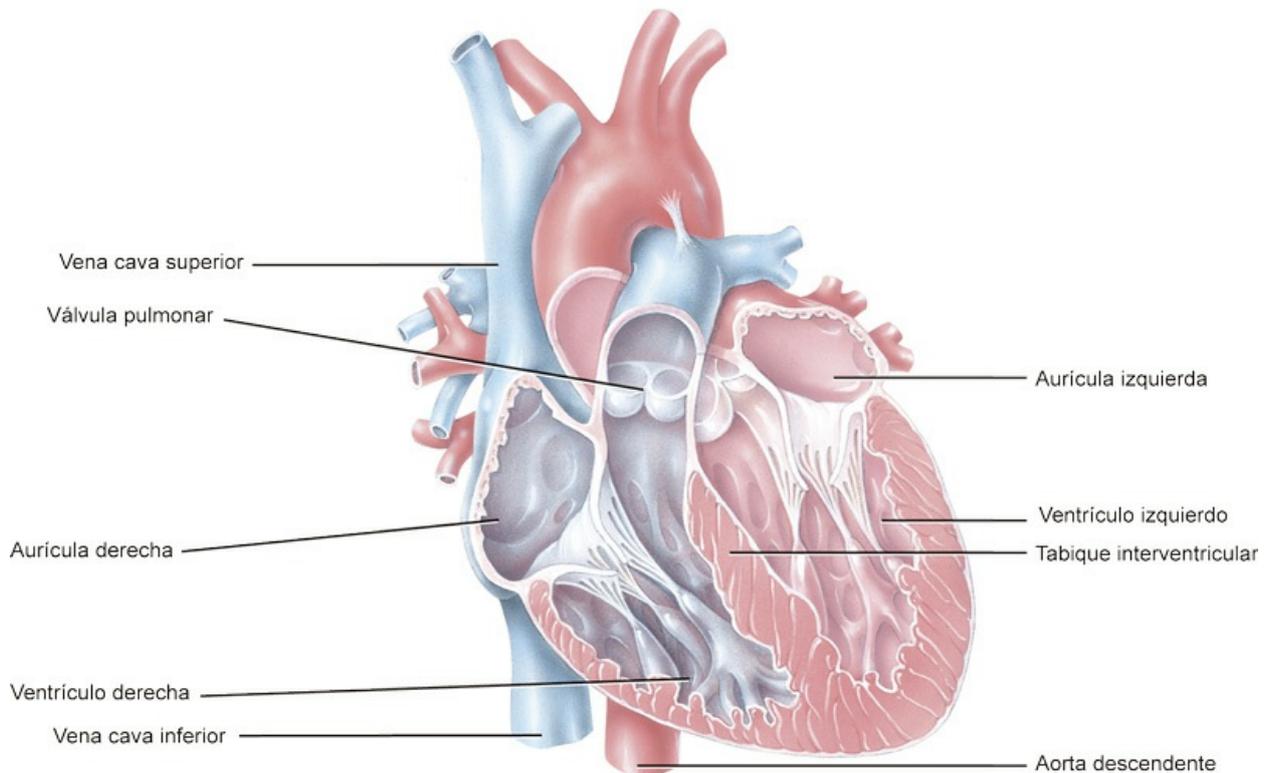


Figura 8-5. Cámaras del corazón. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- La bomba constituida por el hemicardio derecho (mitad derecha del corazón) recibe sangre desoxigenada (sangre que ha cedido parte de su oxígeno a las células) desde los tejidos y la bombea a la circulación pulmonar (los pulmones).
- La bomba constituida por el hemicardio izquierdo recibe sangre oxigenada de la circulación pulmonar y la bombea hacia el resto del organismo (la circulación sistémica).

Aurículas

Las aurículas son las cámaras cardiacas más pequeñas y se encuentran arriba de los ventrículos. Hay dos aurículas:

- La aurícula derecha recibe sangre de tres venas: vena cava superior, vena cava inferior y seno coronario. La vena cava superior drena sangre de las partes superiores del cuerpo, la vena cava inferior drena sangre de las partes más bajas del cuerpo, y el seno coronario drena sangre de la circulación del propio

corazón.

- La aurícula izquierda constituye la mayor parte de la base del corazón y recibe sangre de los pulmones a través de cuatro venas pulmonares.

Entre las aurículas hay una delgada pared divisoria, el tabique interauricular (inter = entre).

El espesor de tabiques y paredes varía según el trabajo que realiza la cámara. Dado que las aurículas sólo bombean sangre hacia los ventrículos, tienen paredes mucho delgadas que los ventrículos, que deben bombear sangre por la circulación pulmonar y la sistémica.

Entre las aurículas y los ventrículos hay dos válvulas (las válvulas auriculoventriculares, AV):

- La válvula tricúspide tiene tres valvas (cúspides u hojuelas) y se ubica entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho.
- La válvula bicúspide (mitral) tiene dos valvas y se encuentra entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo.

La finalidad de las válvulas AV es evitar el flujo retrógrado de sangre desde los ventrículos hacia las aurículas.

Ventrículos

Hay dos ventrículos: el ventrículo derecho y el ventrículo izquierdo. Cada uno bombea la misma cantidad de sangre por latido, pero tienen presiones muy diferentes.

- El ventrículo derecho recibe sangre de la aurícula derecha y la bombea hacia la circulación pulmonar (los pulmones). Dado que la presión en la circulación pulmonar es muy baja, el ventrículo derecho tiene paredes más delgadas que el izquierdo.
- El ventrículo izquierdo recibe sangre de la aurícula izquierda y la bombea a la circulación sistémica (el resto del cuerpo) vía la aorta. Como el ventrículo izquierdo debe bombear contra una mayor presión y a una mayor distancia sus paredes son mucho más gruesas (más muscular).

Entre los ventrículos hay una pared divisoria, el tabique interventricular. Así, con el tabique entre las aurículas y el tabique entre los ventrículos no ocurre mezcla de sangre entre los dos lados.

A la salida de cada ventrículo hay una válvula. Ambas tienen tres valvas semilunares (con forma de media luna):

- La válvula pulmonar que se ubica entre el ventrículo derecho y las arterias pulmonares, impide el flujo retrógrado de sangre hacia el ventrículo derecho desde las arterias pulmonares.

- La válvula aórtica se sitúa entre el ventrículo izquierdo y la aorta (la principal arteria que da hacia la circulación sistémica) e impide el flujo retrógrado de sangre hacia el ventrículo izquierdo desde la circulación sistémica.

Caso clínico

Bety es una mujer de 80 años que ha venido experimentando disnea (respiración dificultosa; falta de aliento) con el esfuerzo y dolor torácico constante. Se le diagnosticó estenosis de válvula aórtica hace varios años, después de que su médico general notó un soplo cardiaco a la auscultación. Tiene citas anuales en el consultorio del cardiólogo en el hospital de su localidad, pero debido al empeoramiento de los síntomas su médico general ha pedido una revisión urgente.

El cardiólogo solicita a Bety un ecocardiograma, el cual muestra empeoramiento de la estenosis de la válvula aórtica. Dado que Bety no es candidata para la cirugía, la refiere a una unidad especializada para valvuloplastia con balón, que es la dilatación de la válvula aórtica con un balón durante cateterismo cardiaco y es considerablemente más segura que la cirugía a corazón abierto (*National Institute for Health and Care Excellence, 2004*).

Cualquiera de las cuatro válvulas del corazón puede fallar. Hay dos principales procesos que pueden afectarlas (Clare, 2007):

- **Insuficiencia (incompetencia) valvular.** La válvula no puede cerrarse de manera completa, de modo que ocurre flujo retrógrado de sangre hacia la cámara cardiaca correspondiente. La insuficiencia es más común en las válvulas mitral y aórtica; es muy rara en las válvulas tricúspide y pulmonar. Son causas comunes de ello la degeneración valvular por la edad, infección y cardiopatía coronaria.
- **Estenosis valvular.** La válvula se torna rígida y las valvas pueden fusionarse, con lo que estrechan la abertura por la que puede pasar la sangre. La estenosis es rara en la válvula pulmonar, y sólo suele observarse en la válvula tricúspide junto con estenosis de las válvulas aórtica, mitral o ambas. Son causas comunes de estenosis: la fiebre reumática, y cambios relacionados con la edad en el caso de estenosis de la válvula aórtica.

Suministro sanguíneo del corazón

Aunque es pequeño, el corazón recibe alrededor del 5% del suministro de sangre al organismo. Asegurar que el corazón reciba un suministro abundante de sangre es esencial para garantizar un aporte constante de oxígeno y nutrientes y la eliminación eficiente de productos de desecho que requiere el miocardio.

Sólo la parte interna del endocardio (de alrededor de 2 mm de espesor) recibe sangre en forma directa del interior de las cámaras cardiacas. El resto del corazón es irrigado por las arterias coronarias. Éstas surgen de la aorta, justo después de la válvula aórtica. Se dividen de manera continua en ramas cada vez más pequeñas, formando una red de vasos sanguíneos para proveer al músculo cardiaco. En la figura 8-6 se muestran las principales arterias coronarias.

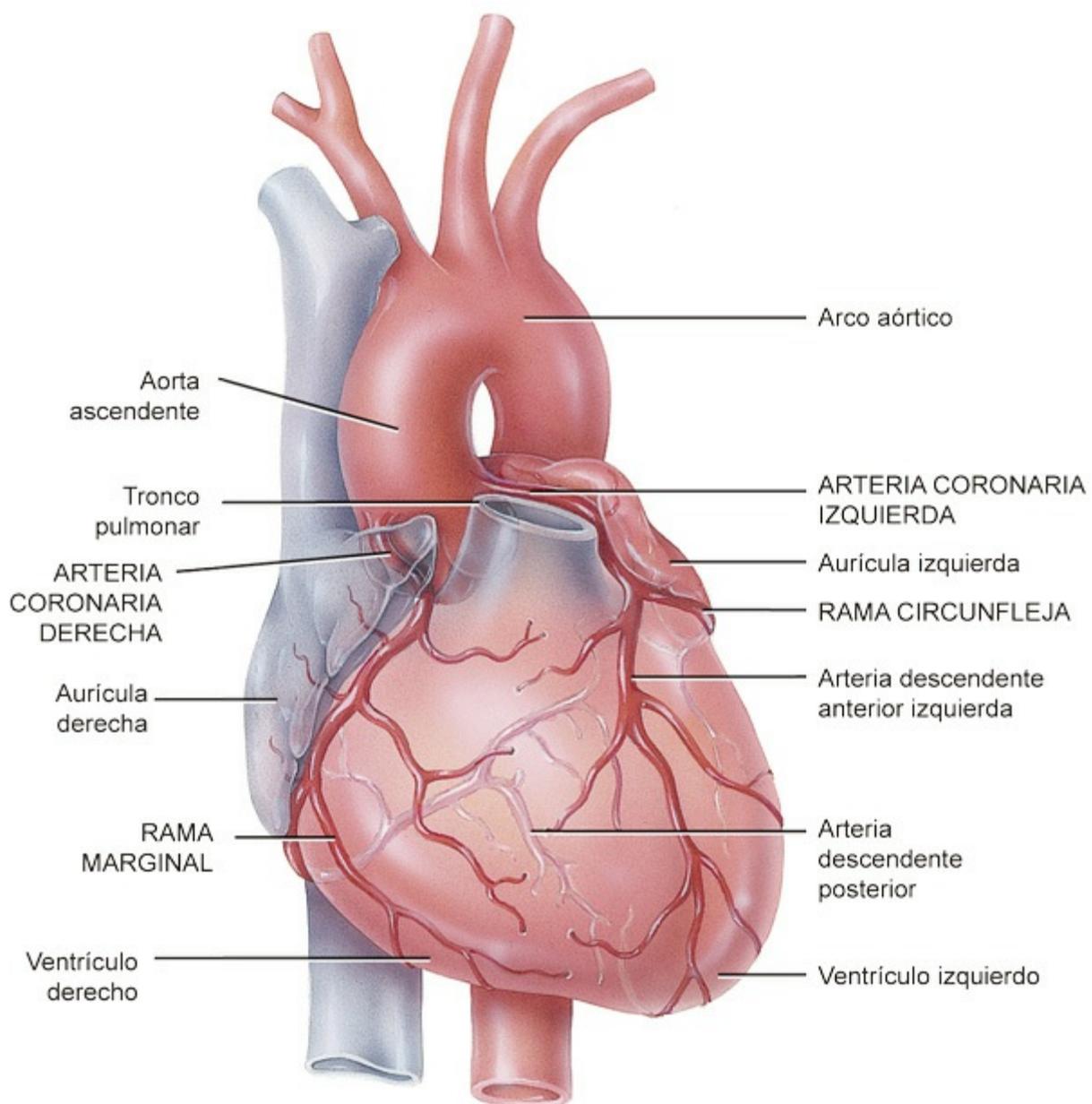


Figura 8-6. Arterias coronarias. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cada arteria (y sus ramas) sirve a diferentes zonas del músculo cardiaco; en el cuadro 8-1 se resumen las principales arterias, sus ramas y las zonas del corazón que nutren. Es importante hacer notar que el cuadro 8-1 indica la anatomía en la mayoría de las personas, pero hay variaciones normales (variantes anatómicas) de este patrón de suministro sanguíneo hasta en 30% de la población. Estas variaciones no tienen implicaciones en el sujeto sano normal, pero pueden ser importantes en el tratamiento de pacientes cardiacos.

Cuadro 8-1. Nombres de las arterias coronarias, sus ramas principales y las zonas del corazón que irrigan

| Arteria | Zona irrigada del corazón | Ramas principales |
|--------------------------------------|---|-------------------------------|
| Descendente anterior izquierda (DAI) | Frente y costado del ventrículo izquierdo, vértice del corazón | Diagonales Septales |
| Arteria circunfleja | Dorso y costado del ventrículo izquierdo | Marginal oblicua |
| Coronaria derecha (ACD) | Ventrículo derecho, base del corazón y tabique interventricular | Arteria descendente posterior |

Dado que las arterias coronarias se comprimen durante cada latido cardiaco, la sangre no fluye por ellas en ese momento. Así, el flujo sanguíneo al miocardio ocurre durante la fase de relajación; esto es lo opuesto de lo que se observa en el resto del cuerpo.

Caso clínico

Jorge es un varón de 50 años que ha venido quejándose de dolor torácico recurrente las últimas semanas. Su médico general lo envió al hospital de la localidad para que le realizaran estudios, y el cardiólogo ha decidido que, dados los resultados de Jorge y sus factores de riesgo para cardiopatía coronaria, se le debe realizar una angiografía (con catéter cardiaco).

El cateterismo cardiaco es la inserción de un catéter en una arteria grande (por lo general en la ingle o el brazo) hasta el corazón, donde puede inyectarse medio de contraste en las arterias coronarias a fin de visualizar cualquier estenosis de la luz, que pudiera estar reduciendo el flujo de sangre hacia el músculo cardiaco (figura 8-7).

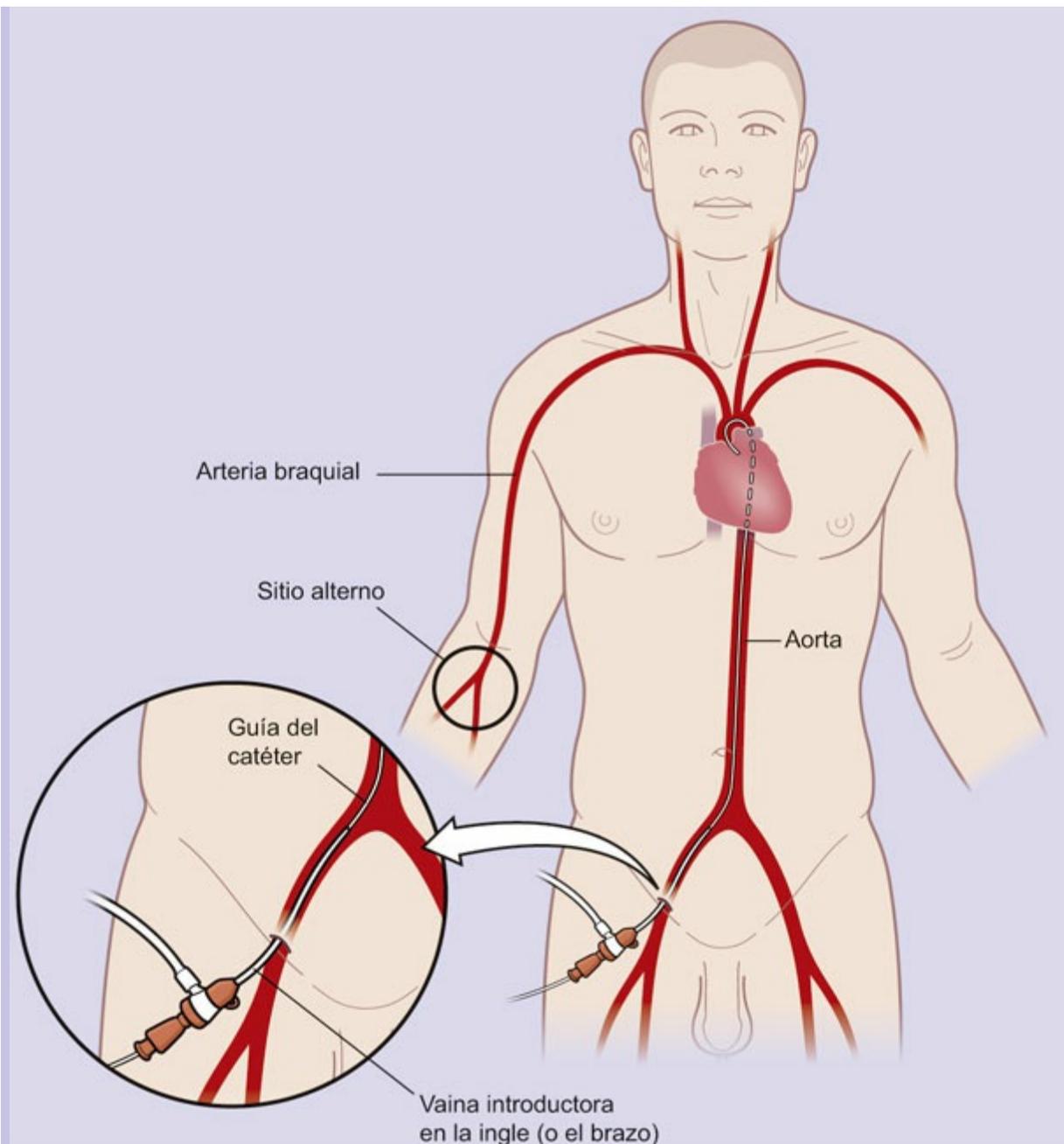


Figura 8-7. Cateterismo cardíaco.

La intervención es segura, y suele realizarse en forma ambulatoria bajo anestesia local. Como todas las intervenciones, implica algún riesgo, pero debe tranquilizarse al paciente explicándole que las complicaciones son raras y por lo común menores.

Jorge se somete a cateterismo cardíaco por la arteria femoral. Después de la maniobra será necesario que permanezca en decúbito dorsal en cama y luego con la cabecera a 30° antes de que se le permita movilizarse. El sitio de inserción debe vigilarse por si hay sangrado activo o se desarrolla un hematoma, y también se miden con regularidad la presión arterial y el pulso en el miembro superior e inferior, según la práctica local.

Debe alentarse al paciente a beber líquidos, para ayudar a los riñones a excretar el material de contraste radioopaco inyectado en la sangre.

Véase O'Grady (2007).

Administración de medicamentos

Fármacos cardiacos

Después de su angiografía se informa a Jorge que tiene estenosis en algunas de sus arterias coronarias, y que el dolor que experimenta es anginoso debido a un desequilibrio entre la necesidad de oxígeno de sus músculos cardiacos y la capacidad de la sangre de fluir por las arterias estenosadas. El cardiólogo le prescribe diltiazem para ayudar a evitar que el dolor afecte su vida diaria.

El diltiazem pertenece a la clase de fármacos conocidos como bloqueadores de los canales de calcio. En la angina, actúan atenuando la fuerza de contracción cardiaca al reducir la entrada de calcio en los miocitos. Esta disminución de la fuerza de contracción aminora el trabajo del corazón, y por lo tanto la necesidad de oxígeno.

Los bloqueadores de los canales de calcio también se prescriben de manera común para el tratamiento de la hipertensión arterial.

Entre los efectos adversos de los bloqueadores de los canales de calcio están la hinchazón de tobillos, dolor de tobillos o pies, estreñimiento, exantemas cutáneos, rubor facial, cefalea, mareo y cansancio (National Institute for Health and Care Excellence, 2013).

Si bien no se sabe que ocurra en especial con el diltiazem, muchos bloqueadores de los canales de calcio son afectados por la toronja, de modo que suele indicarse a los pacientes que no beban jugo de toronja ni coman esa fruta cuando reciban bloqueadores de los canales de calcio. Al parecer otros cítricos no tienen el mismo efecto, y pueden consumirse de manera normal.

En: <http://www.evidence.nhs.uk/formulary/bnf/current/a1-interactions/list-of-drug-interactions/grapefruitjuice> se encuentra una lista de medicamentos que interactúan con la toronja.

Consideraciones clínicas

Infarto de miocardio

Cuando una de las arterias que irrigan el músculo cardiaco es bloqueada por un trombo (coágulo de sangre), el paciente debe recibir tratamiento rápido a fin de tratar de limitar el daño al miocardio. Hay dos principales opciones terapéuticas disponibles:

- **Trombólisis:** la administración de un fármaco trombolítico a fin de tratar de desintegrar el coágulo y hacer que el flujo de sangre regrese a la arteria. Esta forma de tratamiento es muy común y no requiere de un equipo especializado para su administración. Sin embargo, se vigila de cerca a los pacientes en busca de efectos secundarios, como sangrado, hipotensión y trastornos del ritmo cardiaco.
- **Intervención coronaria percutánea (ICP):** es una intervención especializada que requiere una sala de cateterismo cardiaco específica (una forma de quirófano con equipo de visualización especial), personal capacitado y diversos catéteres cardiacos, balones y endoprótesis (figura 8-8). El paciente se somete a la inserción de un catéter a través de un orificio en la arteria femoral, y el catéter se maniobra en la arteria en que se encuentra el bloqueo. Entonces se hace pasar un balón hasta el bloqueo y se infla para empujar el trombo contra las paredes de la arteria; si es necesario se inserta una malla de metal (una endoprótesis) en la arteria para mantener su luz permeable. Aunque es una intervención especializada, la ICP es cada vez más común en muchos países.

Véanse en *University of Michigan Health System* (2014) diagramas sobre la colocación de endoprótesis coronarias.

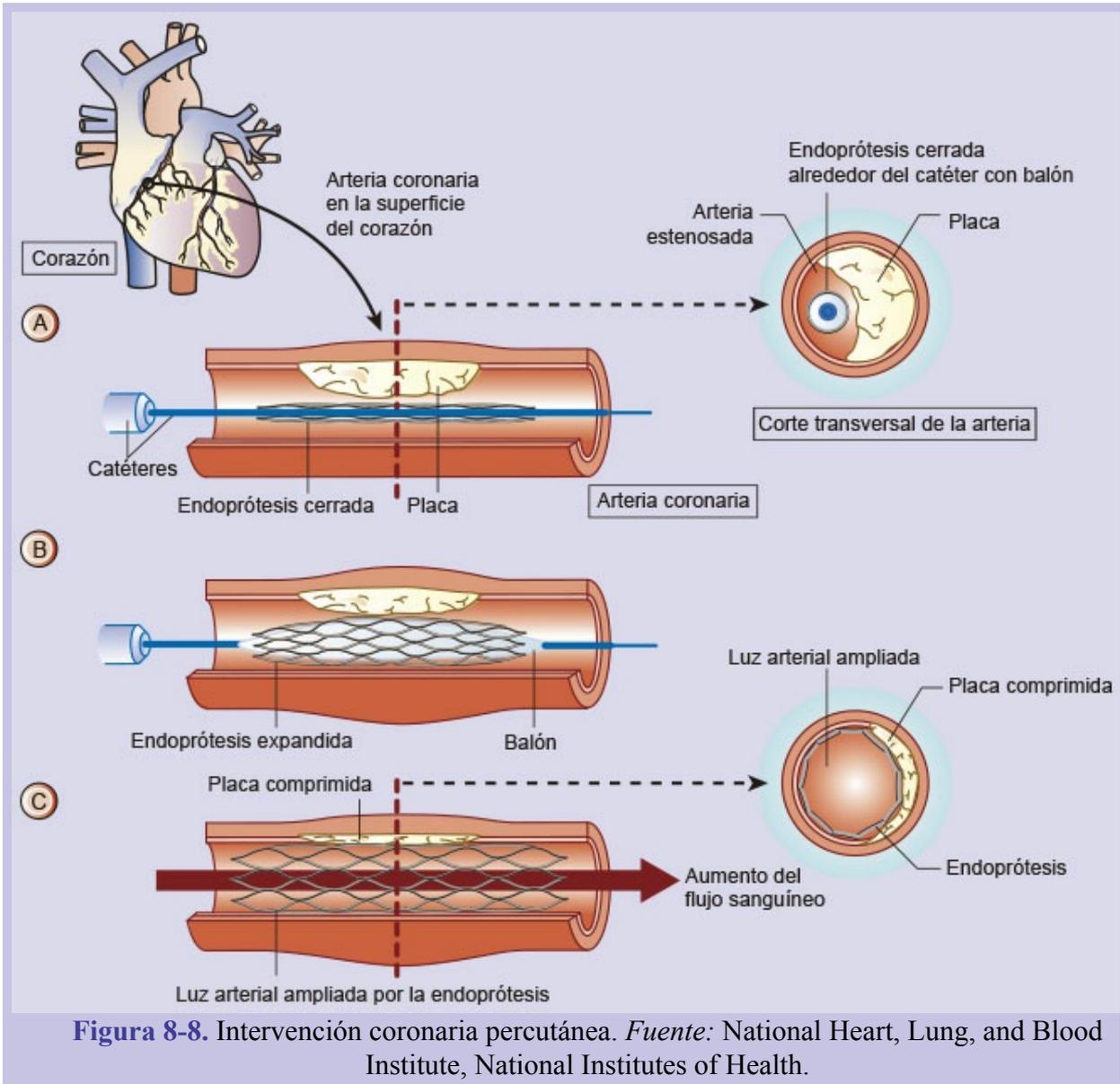


Figura 8-8. Intervención coronaria percutánea. *Fuente:* National Heart, Lung, and Blood Institute, National Institutes of Health.

Flujo sanguíneo por el corazón

Como se hizo notar antes en este capítulo, aunque el corazón es un órgano individual, es más exacto verlo como dos bombas, el hemicardio derecho y el izquierdo. Cada bomba consiste de dos cámaras (aurículas y ventrículos) y sus válvulas relacionadas.

- La bomba del hemicardio derecho recibe sangre de la circulación sistémica (el cuerpo) y la bombea por la circulación pulmonar (los pulmones).
- La bomba del hemicardio izquierdo recibe sangre de la circulación pulmonar y la bombea por la circulación sistémica.

En la figura 8-9 se presenta una explicación simplificada del flujo de sangre a través del corazón. En este diagrama, la sangre desoxigenada se muestra en azul y la sangre oxigenada en rojo. Es importante hacer notar que “sangre desoxigenada” no se refiere a sangre carente de oxígeno sino a sangre que ha cedido algo de su oxígeno a los tejidos. De manera característica, la sangre desoxigenada contiene 75% del oxígeno que la sangre oxigenada porta.

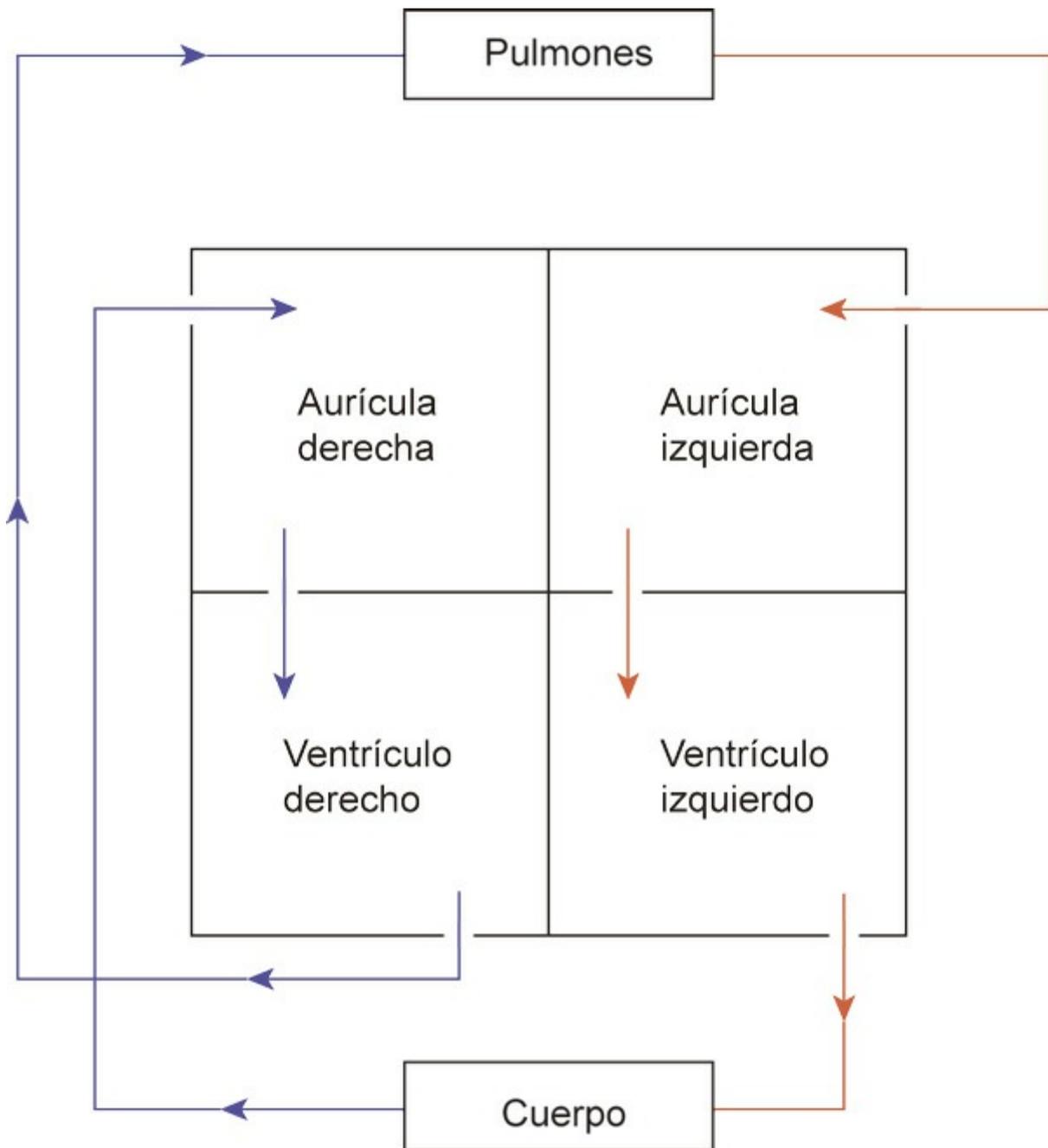


Figura 8-9. Diagrama simplificado del flujo de sangre por el corazón.

Así, la sangre desoxigenada vuelve del cuerpo a la aurícula derecha y luego al ventrículo derecho, de donde es bombeada a los pulmones. En los pulmones los gases de desecho se intercambian por oxígeno, y la sangre oxigenada fluye a la aurícula izquierda (circulación menor) y al ventrículo izquierdo. Del ventrículo izquierdo la sangre es bombeada entonces a la circulación general (circulación mayor).

Una vista más detallada y anatómica se muestra en la figura 8-10. La sangre entra en la aurícula derecha vía la vena cava superior y la vena cava inferior, y sale del ventrículo derecho vía las arterias pulmonares. Nótese que aunque es sangre desoxigenada la que sale del ventrículo derecho, son los vasos por los que circula la sangre los que la hacen arterial o venosa. Así:

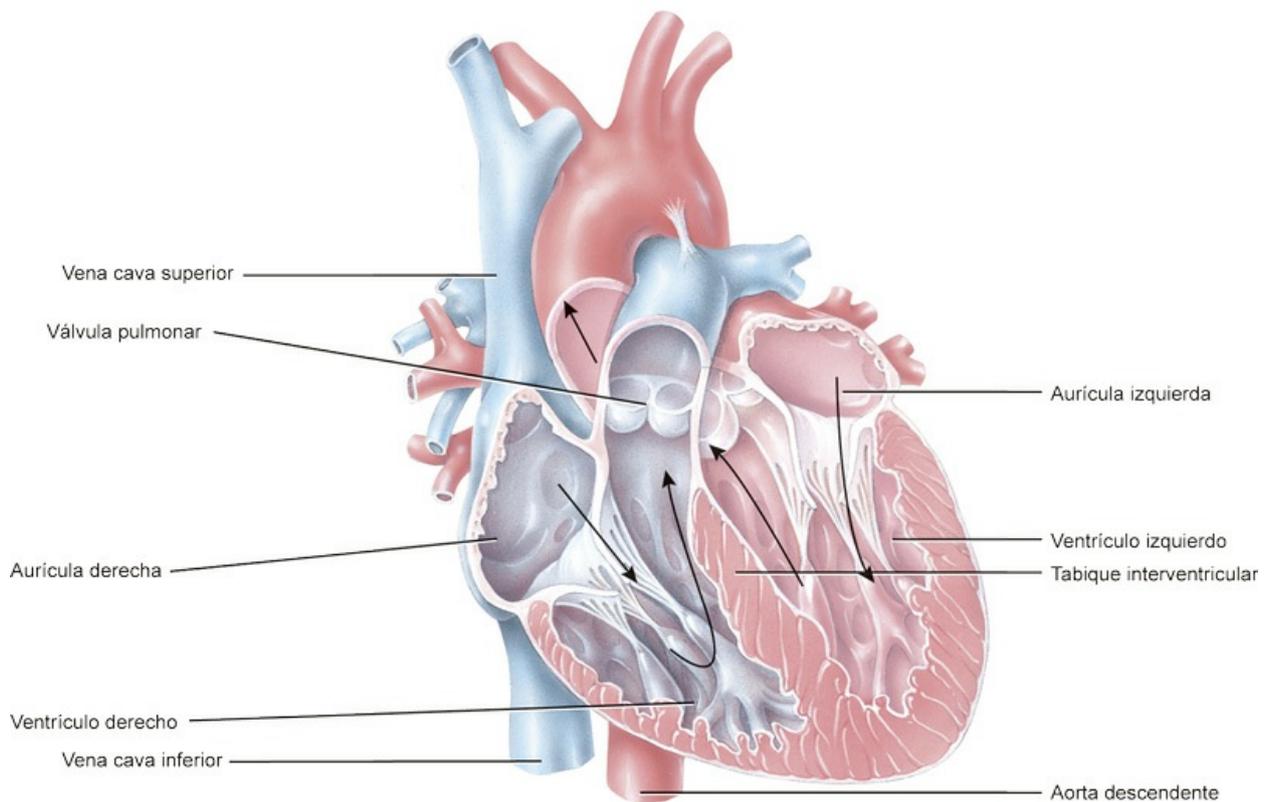


Figura 8-10. Vista anatómica del flujo de sangre por el corazón. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- La sangre que entra en las aurículas es llevada por venas, y por lo tanto es sangre venosa.
- La sangre que sale de los ventrículos es llevada por arterias, y por lo tanto es sangre arterial.

La sangre es transportada por la circulación pulmonar y devuelta a la aurícula izquierda en las venas pulmonares; luego es bombeada por el ventrículo izquierdo a la aorta.

Vías eléctricas del corazón

Dentro del corazón hay una red especializada de vías eléctricas dedicadas a asegurar la transmisión rápida de impulsos eléctricos. Esto garantiza que el miocardio sea excitado con rapidez en respuesta a un impulso iniciador, de modo que las cámaras se contraigan y relajen en el orden correcto y los diferentes pares de cámaras (aurículas y ventrículos) se contraigan al mismo tiempo. Así, por ejemplo, los ventrículos izquierdo y derecho se contraerán de manera simultánea en respuesta a un impulso (pero después que las aurículas). Además, la manera en que el sistema de conducción está organizado significa que los ventrículos se contraen de determinado modo para asegurar que impulsen la sangre de manera eficaz. Por ejemplo, si se desea vaciar un tubo de dentífrico éste se oprimirá desde la base para asegurar el máximo efecto. De modo similar, los ventrículos se contraen de manera que impulsen la sangre hacia el frente y a través de las válvulas semilunares.

Los músculos cardiacos tienen una propiedad especializada que no se observa en ninguna otra parte del cuerpo. Todas las células del miocardio tienen la capacidad de crear su propio potencial de acción sin excitación externa de otra célula u hormona. Esto se conoce como automatismo (o autorritmicidad). El problema con esto es que, sin control, las células actuarían todas de manera independiente y el corazón no latiría de modo eficaz, por lo que no habría coordinación de la actividad eléctrica y las subsecuentes contracciones musculares. Esto se evita mediante el uso de las células especializadas del sistema de conducción. Estas células crean y distribuyen una corriente eléctrica que ocasiona una contracción cardiaca controlada y eficaz. En la figura 8-11 se presenta un panorama general de la anatomía del sistema de conducción.

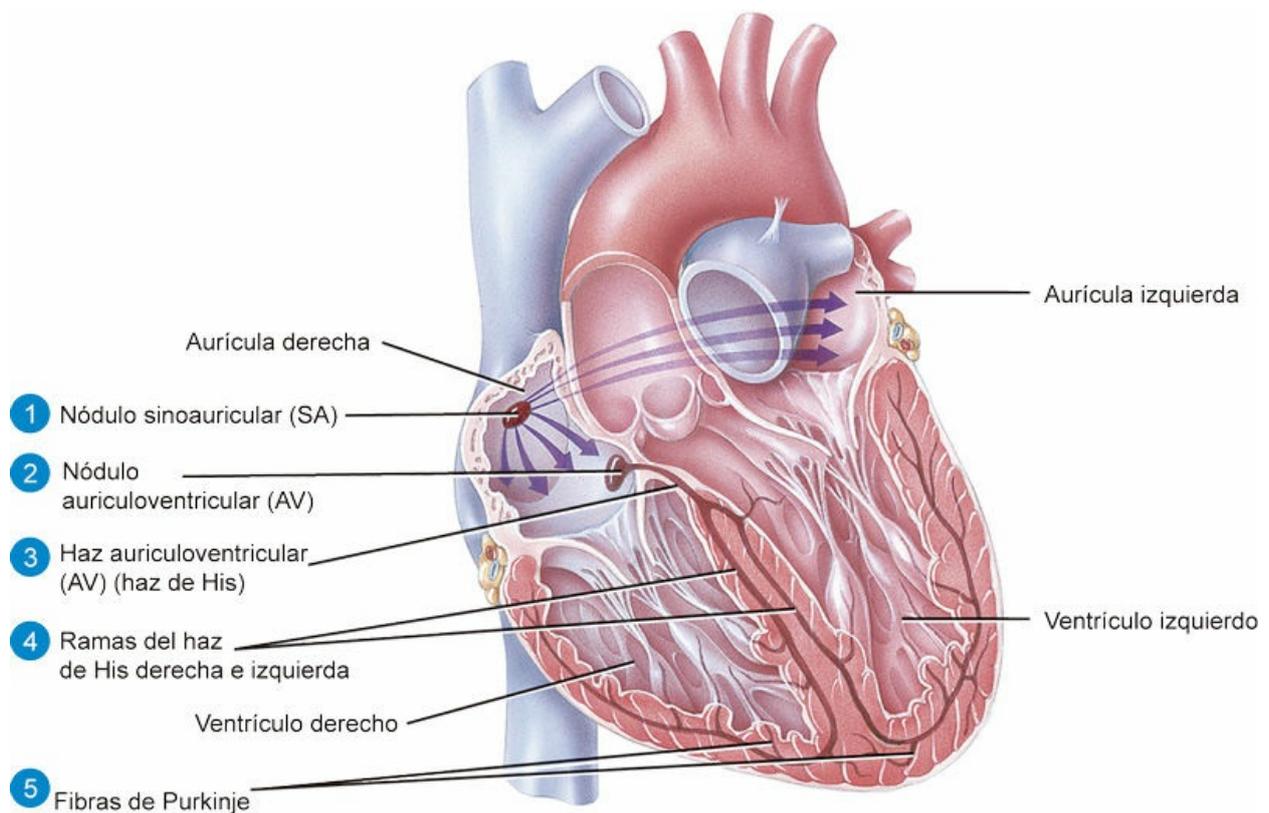


Figura 8-11. Sistema de conducción del corazón. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La excitación/distribución eléctricas normales comienzan en el nódulo sinoauricular (SA), que se localiza en la aurícula derecha, y se transmiten a gran velocidad a través de las aurículas por vías rápidas. Esto asegura que las aurículas derecha e izquierda se exciten juntas y latan como una unidad. El impulso se transmite al nódulo AV, donde cualquier transmisión ulterior se demora alrededor de 0.1 seg (Martini *et al.*, 2014). Ello garantiza que las aurículas se hayan contraído por completo antes de que se inicie la contracción ventricular. Debe hacerse notar que las aurículas y los ventrículos están eléctricamente aislados entre sí por una banda de tejido fibroso no conductor, y por tanto la única conexión eléctrica entre los dos es el haz de His (haz AV) (figura 8-12).

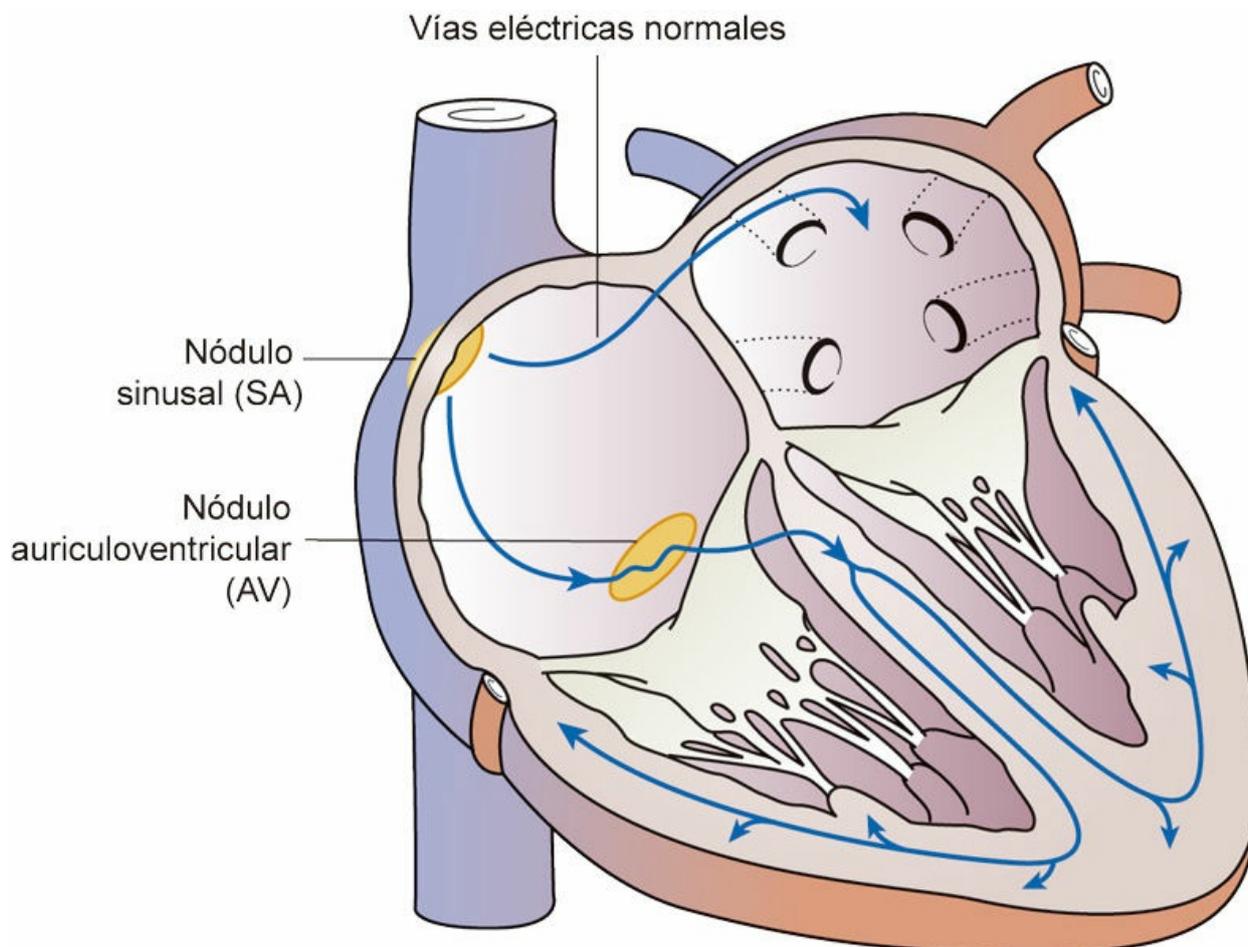


Figura 8-12. Conducción eléctrica normal. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Una vez que el impulso se ha “retenido” en el nódulo AV se transmite por el haz de His (haz AV) a las vías rápidas de las dos ramas del haz (una por ventrículo). Los haces se dividen entonces en ramas cada vez más pequeñas del sistema de Purkinje, que transmite los impulsos a los músculos de los ventrículos.

Administración de medicamentos

Digoxina

Paulina es una mujer de 72 años que ingresa en la unidad de cuidados coronarios con frecuencia cardíaca de 35 y presión arterial de 90/40 mm Hg. Tiene mucho malestar y está inquieta, confundida y agitada. El electrocardiograma (ECG) muestra signos de intoxicación por digoxina, y al interrogar a la hija de Paulina parece ser que a su madre se le prescribió ese fármaco pocos meses antes.

La digoxina es un glucósido cardíaco empleado en el tratamiento de insuficiencia cardíaca y arritmias auriculares. Alguna vez un fármaco muy popular, su uso se ha reducido, pero aún se le prescribe con frecuencia. La digoxina hace más lentos y fuertes los latidos del corazón (reduce la frecuencia cardíaca e incrementa la fuerza de la contracción). Debido a estos efectos, un exceso de digoxina en la sangre puede aminorar la frecuencia cardíaca, ocasionando mareo. En los pacientes añosos, la excreción de digoxina se reduce, por lo que su concentración puede aumentar por encima del umbral

terapéutico incluso a dosis normales.

Los signos de intoxicación por digoxina incluyen náusea, vómito, confusión, delirio y cefaleas. También puede llevar a concentraciones sanguíneas elevadas de potasio. En casos muy graves la digoxina puede contrarrestarse mediante anticuerpos específicos para digoxina (fijadores de digoxina) infundidos en la sangre. O bien puede instituirse un tratamiento de sostén y vigilancia, al tiempo que se suspende la digoxina.

Al administrar digoxina, se espera que la enfermera tome el pulso del paciente, y si es menor de 60 latidos por minuto, el fármaco se suspende y se busca atención médica. Véase *British National Formulary* (2015).

Consideraciones clínicas

Células nodales

También llamadas células marcapasos, éstas son células especializadas que no sólo crean impulsos eléctricos sino que además lo hacen a intervalos regulares.

Las células nodales se dividen en dos grupos:

1. El nódulo SA, localizado en la aurícula derecha, que genera impulsos eléctricos aproximadamente a razón de 70 a 80 impulsos por minuto.
2. El nódulo AV, localizado por arriba del punto en que las aurículas y los ventrículos se encuentran. Este nódulo genera 40 a 60 impulsos por minuto.

La diferencia en el ritmo de generación de impulsos es importante para el funcionamiento normal del corazón, ya que cada vez que se transmite un impulso por el sistema eléctrico “reprograma” las células en una “posición más baja”. Por lo tanto, el nódulo SA es el marcapasos normal del corazón toda vez que crea impulsos más rápido que el nódulo AV.

Así, en una analogía militar, el nódulo SA podría verse como un general que comanda al capitán (nódulo AV), pero si el general deja de emitir órdenes entonces el capitán asume el mando.

Incluso con la “estructura de mando” creada por las células nodales el sistema de conducción del corazón puede desacelerarse en grado considerable, en cuyo caso el paciente puede sentirse muy mal. Por ejemplo, si el nódulo AV deja de transmitir impulsos al haz de His, las células en las partes inferiores del sistema de conducción pueden producir potenciales de acción por sí mismas, pero a un ritmo muy bajo (entre 20 y 35 impulsos por minuto). En estos casos se indica al paciente un marcapasos permanente (figura 8-13).

El “generador” (batería y circuito) está contenido en una pequeña caja bajo la piel de la pared torácica. Los cables van del generador al corazón del paciente a través de una vena. Según el tipo de marcapasos colocado, puede haber uno o dos cables. Así, por ejemplo en el caso de falla de un nódulo AV el marcapasos tendría dos cables: uno en la aurícula derecha y otro en el ventrículo derecho. El marcapasos captaría el potencial de acción auricular y luego (después de una breve demora para imitar la acción del nódulo AV) el ventrículo recibiría un impulso eléctrico, que lo haría contraerse. De este modo, el marcapasos actúa como un nódulo AV de reemplazo (O’Grady, 2007).

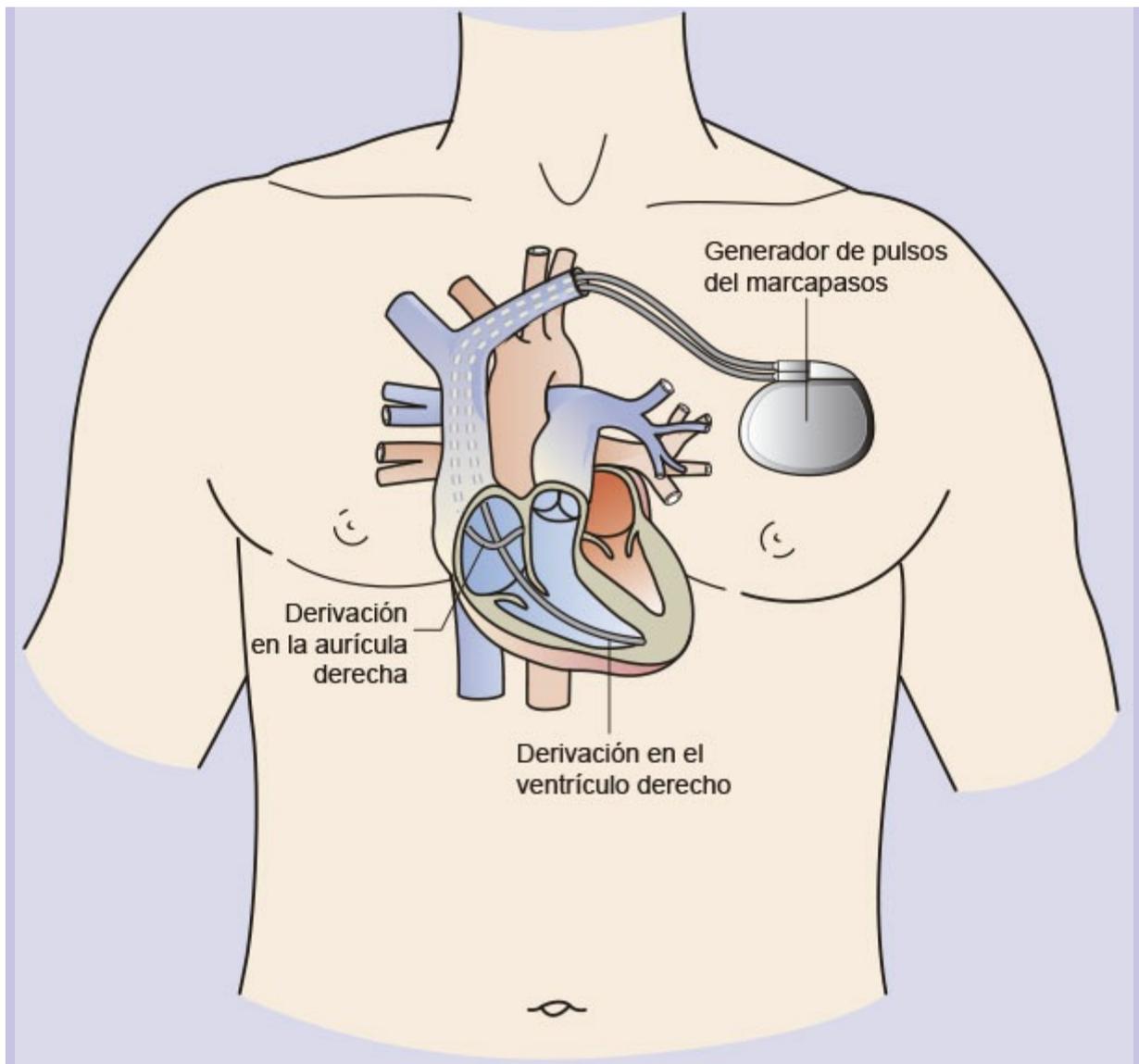


Figura 8-13. Marcapasos.

El caso de Paulina

Al ingresar Paulina a la unidad de cuidados coronarios se le ordena un ECG de 12 derivaciones en reposo y monitoreo cardíaco. Si bien ambos registran la actividad eléctrica del corazón, el monitoreo de tres derivaciones y el ECG de 12 derivaciones tienen diferentes fines.

El monitor cardíaco de tres derivaciones se emplea para la vigilancia continua (monitoreo) del ritmo cardíaco en pacientes que se piensa están en riesgo de sufrir una alteración del ritmo cardíaco. La colocación de las derivaciones es como sigue:

| | |
|----------------|------------------|
| Cable rojo | Brazo derecho |
| Cable amarillo | Brazo izquierdo |
| Cable verde | Pierna izquierda |
| | |

o bien

Cable negro

Pierna derecha

Debe hacerse notar que las derivaciones de un sistema de monitoreo suelen colocarse en el hombro correspondiente para las derivaciones de brazo, y en la parte inferior del tórax para las derivaciones de las piernas, de modo que permiten al paciente libertad de movimiento y dejan el tórax despejado para reanimación en caso de requerirse.

En un ECG de 12 derivaciones éstas se colocan como antes se comentó, pero en muñecas y tobillos; luego se colocan las derivaciones torácicas. Muchas enfermeras utilizan nemotecnias para recordar el orden en que debe colocarse cada derivación, por ejemplo: “Rojo Amarillo, Verde Negrillo”; otras pensarán en “Rojo Derecho, Amarillo Izquierdillo”.

Los ECG de 12 derivaciones se usan con fines diagnósticos, y es esencial la colocación correcta de los cables.

La colocación de las derivaciones torácicas para un ECG de 12 derivaciones es una técnica que debe practicarse bajo supervisión hasta que se adquiera la competencia. En la figura 8-14 se muestra la colocación de las derivaciones.

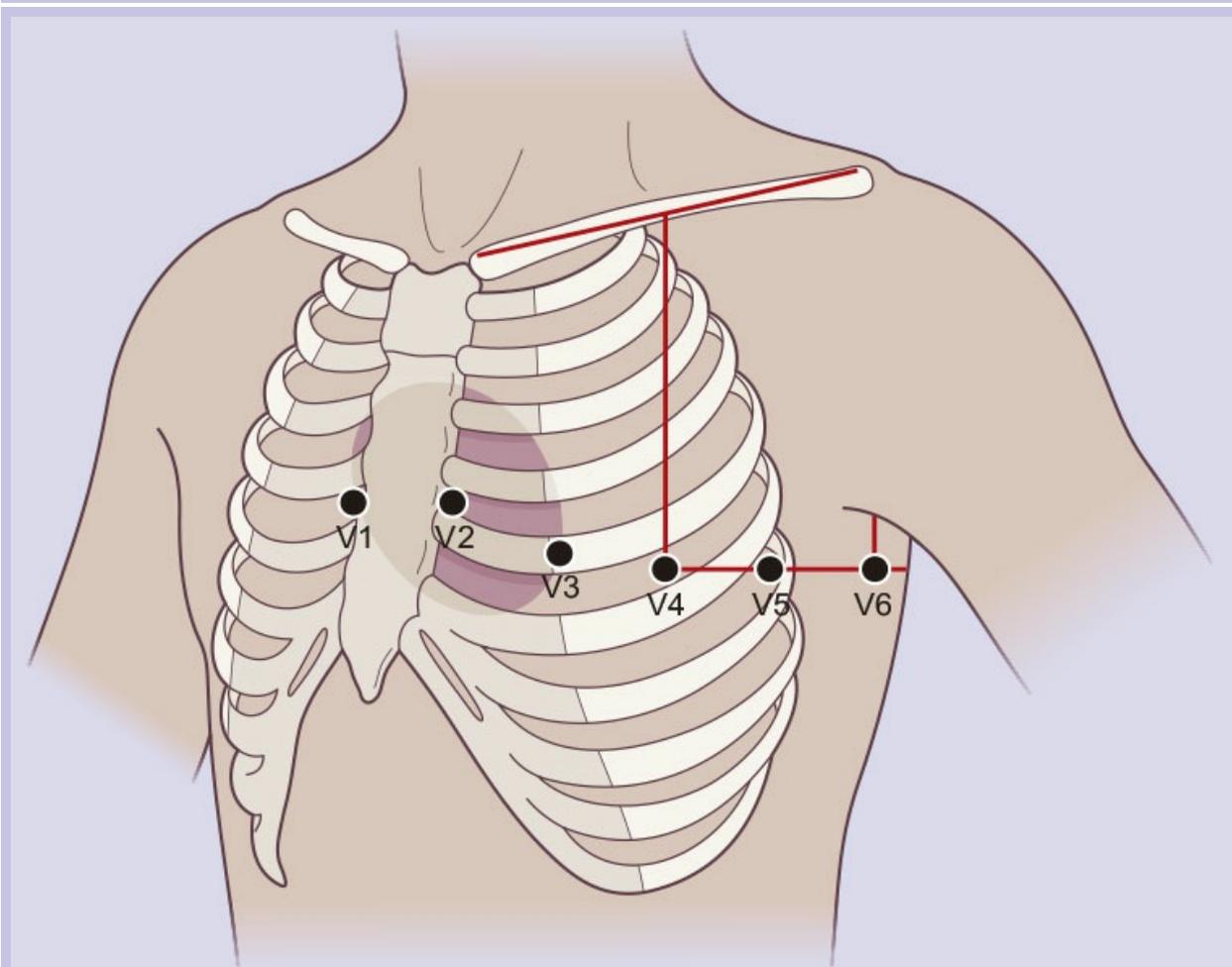


Figura 8-14. Colocación de las derivaciones torácicas para un ECG de 12 derivaciones en reposo.

- V1: cuarto espacio intercostal, borde esternal derecho.
- V2: cuarto espacio intercostal, borde esternal izquierdo.
- V3: mitad de la distancia entre V2 y V4.
- V4: quinto espacio intercostal, línea mesoclavicular izquierda.
- V5: al nivel de V4, línea axilar anterior izquierda.

- V6: al nivel de V4, línea axilar media izquierda.

En las mujeres los electrodos *nunca* se colocan en la mama, a menos que no pueda accederse a la posición normal. Si debe avanzarse a la mama, se anota en los registros.

Ciclo cardiaco

Ciclo cardiaco es el nombre dado a la actividad mecánica del corazón, y se entiende mejor observando los cambios de presión en las cámaras cardiacas, la aorta y relacionándolos con la actividad mecánica del corazón y sus cámaras.

Sístole y diástole

Éstos son dos términos que requieren definición, toda vez que son únicos de la anatomía y fisiología del corazón.

Sístole: contracción de una cámara cardiaca (aurícula o ventrículo).

Diástole: relajación de una cámara cardiaca (aurícula o ventrículo).

El ciclo cardiaco puede apreciarse en la figura 8-15. Debe hacerse notar que el diagrama se refiere a las presiones en el lado izquierdo del corazón (aurícula y ventrículo); el ciclo cardiaco es el mismo en el lado derecho pero las presiones son más bajas. El ciclo cardiaco puede dividirse en una serie de pasos que se detallan enseguida. El flujo sanguíneo en el corazón y el aparato circulatorio siempre va de un punto de alta presión a un punto de menor presión.

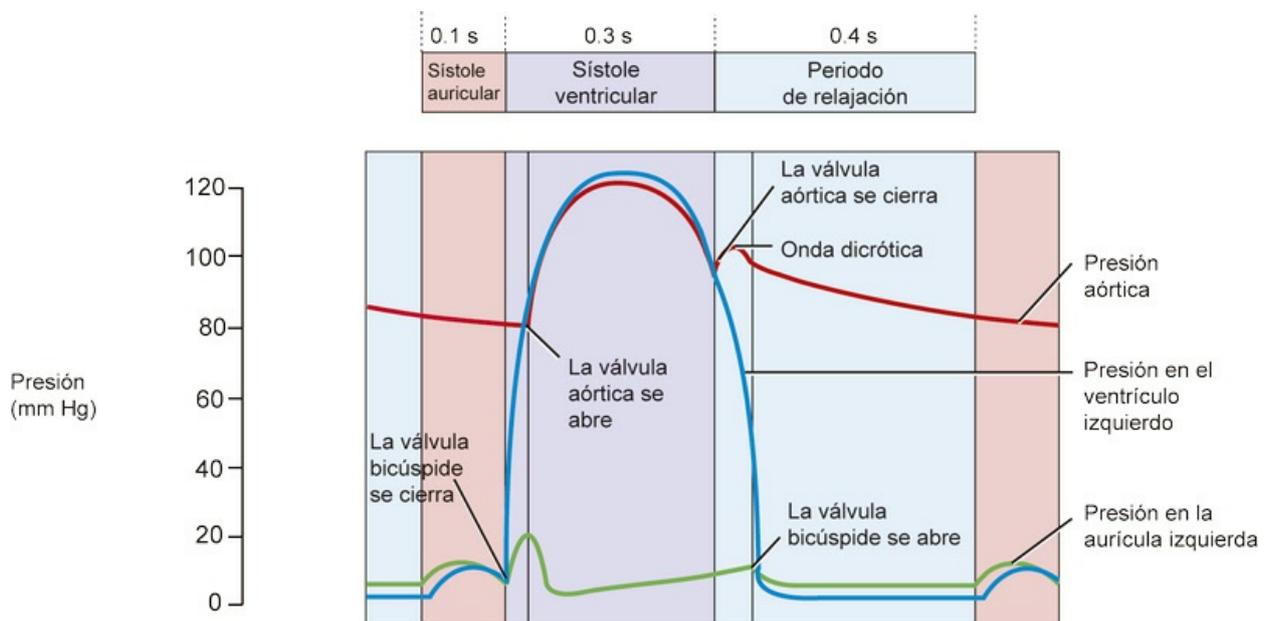


Figura 8-15. Ciclo cardiaco. Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El ciclo cardiaco suele dividirse en cinco fases:

1. Un periodo de llenado ventricular desde la parte media a la tardía de la relajación (diástole ventricular). La presión en el ventrículo es baja. La sangre que retorna al corazón por la vena cava fluye pasivamente por las aurículas y las válvulas AV abiertas hasta el ventrículo. La presión en las aurículas es más

alta que en los ventrículos, y esto fuerza a las válvulas bicúspide (mitral) y tricúspide a abrirse. Cuando la presión en los ventrículos aumenta debido a la mayor cantidad de sangre en éstos, las valvas de las válvulas AV comienzan a ascender a sus posiciones de cierre. Las válvulas semilunares (las válvulas aórtica y pulmonar) están cerradas; la presión en la aorta y las arterias pulmonares es mayor que en los ventrículos, con lo que fuerzan el cierre de estas válvulas. Alrededor del 70% del llenado ventricular ocurre durante esta fase.

2. Más tarde en esta fase las aurículas comienzan a contraerse (sístole auricular) en respuesta a la excitación por un potencial de acción desde el nódulo SA; esto comprime la sangre en las aurículas, ocasionando un ligero aumento de la presión auricular. Este aumento de presión provoca un mayor flujo de sangre hacia los ventrículos desde las aurículas. Los ventrículos permanecen en diástole porque la excitación eléctrica que causó la contracción auricular se demora en el nódulo AV. Hacia el final de este punto en el tiempo los ventrículos están en la última parte de su fase de relajación y contienen la mayor cantidad de sangre que contendrán durante el ciclo cardiaco. Esto se conoce como volumen telediastólico (VTD) y es de alrededor de 130 mL de sangre (Jenkins y Tortora, 2013); es decir, el volumen de sangre contenido en los ventrículos al final de su fase de relajación (diástole). El VTD es el principal factor en la creación de la presión telediastólica, ya que la presión se relaciona de manera directa con la cantidad de sangre dentro del ventrículo cuando éste se encuentra relajado.
3. Contracción ventricular (sístole). Las aurículas se relajan, causando una disminución de la presión auricular. Los ventrículos comienzan a contraerse cuando la excitación eléctrica se transmite del nódulo AV a los ventrículos a través del haz de His, luego a las ramas del haz y al final a las fibras de Purkinje; esto causa un ascenso agudo de la presión ventricular sin cambio alguno en el volumen ventricular (es decir, la cantidad de sangre en los ventrículos no cambia). Una vez que esta presión rebasa la presión en las aurículas las válvulas AV son forzadas a cerrarse. Dado que las válvulas semilunares permanecen cerradas en este punto (la presión ventricular aún es más baja que la presión en la aorta y las arterias pulmonares), los ventrículos están cerrados del todo y el volumen de sangre en ellos permanece igual, mientras la presión aumenta. Esto se conoce como fase de contracción isovolumétrica (iso = permanece igual). Con el tiempo, la presión en los ventrículos se hace mayor que la presión en la aorta y las arterias pulmonares. En este punto las válvulas semilunares son forzadas a abrirse y la sangre se expulsa de los ventrículos.
4. Diástole ventricular temprana (relajación). Los ventrículos comienzan a relajarse. La sangre en ellos ya no es comprimida por la acción del músculo cardiaco, y la presión dentro de los ventrículos desciende con rapidez. Mientras el volumen de sangre en los ventrículos permanece constante (las válvulas AV están cerradas), la presión en la aorta y las arterias pulmonares se hace mayor que la presión en los ventrículos, y las válvulas semilunares son

forzadas a cerrarse. Ésta es la fase de relajación isovolumétrica ventricular. El cierre de las válvulas semilunares causa un breve ascenso de la presión en la aorta, cuando el flujo retrógrado de sangre rebota en la válvula aórtica cerrada; esto puede verse como una ligera protuberancia en el trazo de presión conocida como “escotadura dicrótica”.

5. Durante el periodo de sístole ventricular las aurículas han estado en diástole y llenándose con sangre de las venas. Cuando la presión en las aurículas es mayor que la presión en los ventrículos las válvulas AV son forzadas a abrirse y la sangre comienza a fluir de nuevo a los ventrículos.

Consideraciones clínicas

Electrocardiograma y ciclo cardiaco

Aunque el ciclo cardiaco se refiere a la acción mecánica del corazón, la actividad eléctrica que estimula esta función puede verse mediante el uso de un ECG, un trazo eléctrico que se obtiene conectando electrodos a la piel del paciente y generado por un electrocardiógrafo (que también se abrevia ECG). Sin embargo, es posible que el trazo eléctrico se genere sin actividad mecánica en determinados tipos de paro cardiaco.

En la figura 8-16 se muestra el ECG normal de un ciclo cardiaco (adaptado de Jenkins y Tortora, 2013).

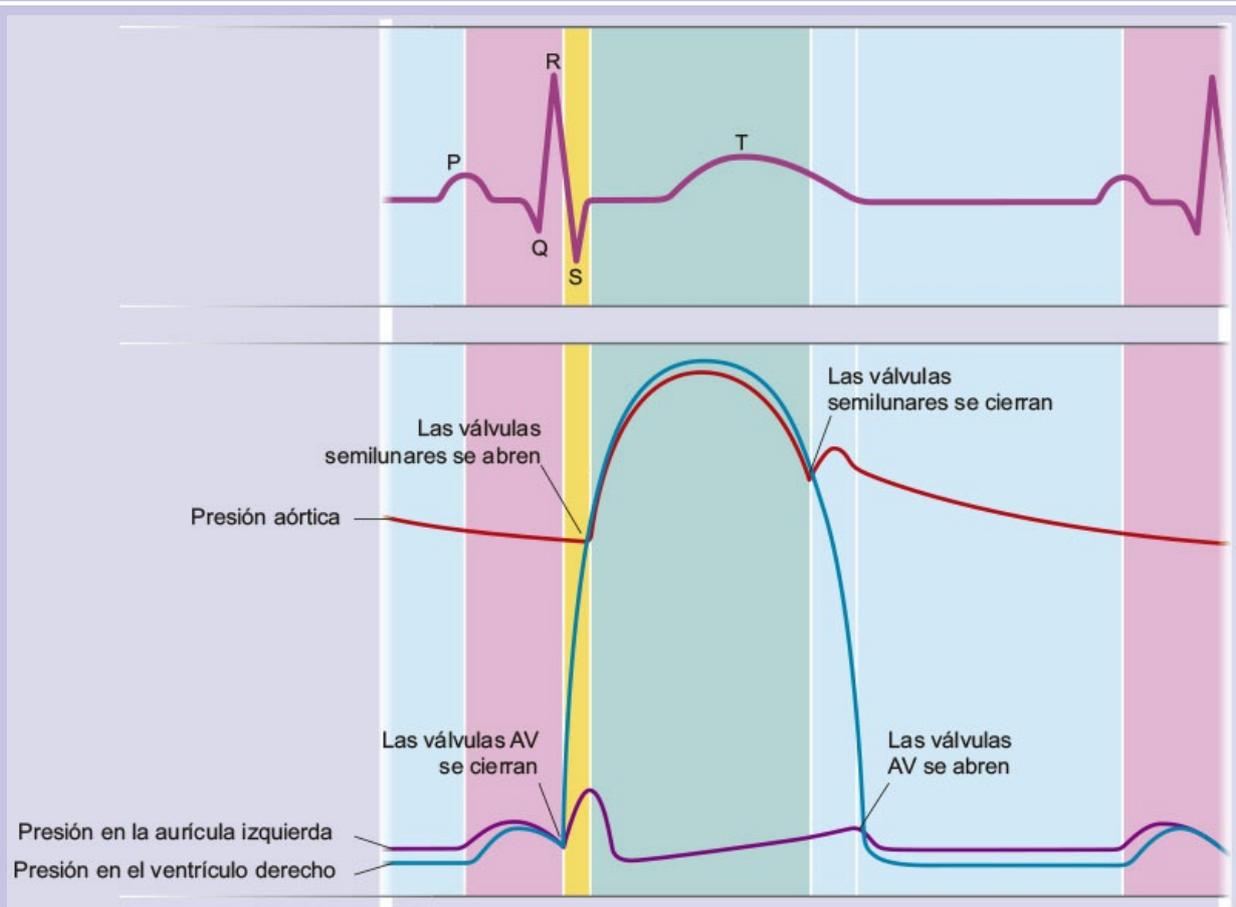


Figura 8-16. ECG normal de un ciclo cardiaco. *Fuente:* Adaptada de Jenkins y Tortora (2013). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los cambios respecto al valor de referencia en el ECG se indican con letras del alfabeto:

P: despolarización auricular; corresponde a la contracción auricular.

Complejo QRS: despolarización ventricular; corresponde a la contracción ventricular (aunque ocurre inmediatamente en el pico de la onda R).

T: repolarización ventricular; corresponde a la fase de relajación del ventrículo; la repolarización auricular no puede verse, ya que está oculta por la mayor actividad eléctrica de la despolarización ventricular.

Aunque parece ser un proceso largo, si se supone una frecuencia cardiaca de 75 latidos por minuto entonces el ciclo cardiaco promedio tomaría alrededor de 0.8 s. Las aurículas están en sístole por 0.1 s, y luego en diástole por 0.7 s, mientras que los ventrículos están en sístole por 0.3 s y en diástole por 0.5 s. Cuando la frecuencia cardiaca aumenta, el ciclo cardiaco se abrevia debido al acortamiento de la fase diastólica; la fase sistólica permanece sin cambio. Como ya se dijo, el músculo cardiaco es irrigado durante la fase diastólica (relajación), ya que la sangre no puede fluir por las arterias coronarias cuando el corazón está en contracción; así, cuando la frecuencia cardiaca aumenta, el flujo sanguíneo en las arterias coronarias (y el aporte de sangre al músculo cardiaco) disminuye.

Factores que afectan el gasto cardiaco

En esta sección se presenta un panorama general de los factores que afectan el gasto cardiaco. “Gasto cardiaco” es un término relacionado con la cantidad de sangre que el corazón bombea en 1 min, y se define mediante la fórmula

$$\text{Gasto cardiaco (GC)} = \text{Volumen sistólico (VS)} \times \text{Frecuencia cardiaca (FC)}$$

Así, la cantidad de sangre que el corazón bombea en un minuto es la cantidad de sangre expulsada por el ventrículo en un latido (VS) por la frecuencia cardiaca (FC) en latidos por minuto. Esto da un volumen total. Por lo tanto, si se tiene que VS es de 70 mL y la frecuencia cardiaca es de 75, entonces el gasto cardiaco es $70 \times 75 = 5\,250$ mL (o 5.25 L) por minuto.

Para revisar los factores que afectan el gasto cardiaco, en las siguientes secciones se verán por separado los factores que regulan el volumen sistólico y aquellos que regulan la frecuencia cardiaca.

Regulación del volumen sistólico

El volumen sistólico es la diferencia entre el VTD (es decir, la cantidad de sangre en el ventrículo al final de la relajación) y el volumen telesistólico (VTS; es decir, la cantidad de sangre en el ventrículo al final de la sístole). Los factores que afectan el volumen sistólico son la precarga, fuerza de la contracción y la poscarga.

Precarga

La fuerza con que las fibras de músculo cardiaco se contraen durante la sístole guarda relación con la cantidad de estiramiento a que son sometidas (a mayor el estiramiento, mayor la fuerza). Esto se conoce como ley de Frank–Starling.

El estiramiento del músculo cardiaco depende en forma directa de la cantidad de sangre contenida en el ventrículo al final de la diástole (VTD), que a su vez depende del volumen de sangre que retorna al corazón vía las venas (retorno venoso). Así, el retorno venoso se relaciona con la fuerza de contracción de los ventrículos. Cualquier cosa que afecte la rapidez o el volumen del retorno venoso afectará el VTD, y por tanto la fuerza de la contracción. Así, por ejemplo:

- Una menor frecuencia cardiaca da más tiempo para que la sangre llene el ventrículo, lo que incrementa el volumen de sangre en el ventrículo al final de la diástole.
- La actividad física incrementa el retorno venoso, ya que el aumento en la frecuencia cardiaca eleva la presión en las venas y la rapidez del retorno venoso, y el efecto de la actividad del músculo esquelético comprime las venas, impulsando sangre de vuelta al corazón (el músculo esquelético bombea). A la inversa, la inactividad reduce el retorno venoso. Como anécdota, a los guardias que permanecen inmóviles frente al Palacio de Buckingham se les enseña a contraer y relajar discretamente los pies, para ayudar al retorno venoso y evitarles un desmayo.
- Influencias hormonales y nerviosas. La liberación de adrenalina o la excitación del sistema nervioso simpático inducen la contracción de las venas y la “expresión” de sangre de vuelta al corazón.
- Frecuencias cardiacas muy altas disminuyen el tiempo de llenado diastólico, y por tanto hay menos tiempo para que el ventrículo reciba sangre antes de que comience la sístole.
- Determinadas arritmias cardiacas hacen que las aurículas dejen de contraerse de manera eficaz, y por lo tanto la sístole auricular ya no puede “empujar” el último resto de sangre a los ventrículos.
- Un volumen sanguíneo reducido (por ejemplo, debido a hemorragia) reduce el retorno venoso.

Fuerza de contracción

Aunque el VTD es un componente importante de la fuerza de contracción (debido a la ley de Frank–Starling), la fuerza de contracción y la contractilidad también pueden ser afectadas por otros factores:

- Hormonas como la adrenalina, glucagón y tiroxina incrementan la fuerza de contracción.
- La actividad del sistema nervioso simpático eleva la fuerza de contracción por medio del efecto de la noradrenalina.
- La contractilidad puede verse reducida por la acidemia (exceso de iones hidrógeno en la sangre) y concentraciones sanguíneas elevadas de potasio.

Poscarga

El término poscarga se refiere a la presión en las arterias que salen de los ventrículos (aorta o arterias pulmonares) que el ventrículo debe vencer para expulsar sangre. En el adulto normal, la presión es de 80 mm Hg en la aorta y de 8 mm Hg en las arterias pulmonares. Esta diferencia en la presión por vencer se refleja en el espesor relativo de las paredes ventriculares; la pared del ventrículo izquierdo es más gruesa (más muscular) que la del derecho (véanse las páginas anteriores sobre la estructura del corazón).

En el adulto promedio, las presiones aórtica y pulmonar no son un factor importante en la determinación de la poscarga ya que ésta es constante, pero los cambios en la anatomía, fisiología o ambas, como en la hipertensión o en la enfermedad valvular aórtica, pueden incrementar la poscarga. El aumento en la poscarga acrecienta la cantidad de sangre que queda en el ventrículo después de cada sístole, y por tanto también tiene un efecto en aumentar la precarga (al elevar el VTS ventricular y por tanto la presión).

Administración de medicamentos

Infarto de miocardio

David es un empleado de oficina de 45 años que hace poco volvió al trabajo después de un infarto de miocardio (IM). La enfermera de rehabilitación dio a David mucha información acerca de una alimentación saludable y ejercicio, pero observa que los valores de colesterol en los resultados de su examen de sangre son significativamente más altos de lo recomendable para alguien que sufrió un IM. La enfermera consulta con el equipo médico, y se le prescriben a David 80 mg de atorvastatina una vez al día.

La atorvastatina es un fármaco reductor del colesterol producido por el cuerpo. Es de uso común en pacientes que han sufrido un IM y tienen elevado el colesterol, ya que se ha demostrado que reduce la probabilidad de otro IM. Aún se requiere que el paciente siga una dieta saludable, ya que la atorvastatina no trata el colesterol y la grasa que el paciente ingiere.

La enfermera recomienda a David que tome la atorvastatina por la noche, ya que uno de sus efectos adversos más comunes es el dolor muscular, y es menos probable que el paciente lo advierta cuando está dormido. También se recomienda a David no comer toronja ni beber su jugo mientras tome atorvastatina, ya que pueden interactuar.

Véase *National Institute for Health and Care Excellence* (2014).

Regulación de la frecuencia cardiaca

La frecuencia cardiaca es controlada por dos mecanismos principales:

- Actividad del sistema nervioso autónomo.
- Actividad hormonal.

La frecuencia cardiaca en reposo también se ve afectada por factores como la edad, género, temperatura y condición física del paciente (Jenkins y Tortora, 2013).

Actividad del sistema nervioso autónomo

Cuando son activadas por un estímulo, como la actividad física o el estrés, las fibras del sistema nervioso simpático liberan en sus terminaciones cardiacas el neurotransmisor llamado noradrenalina. Esto ocasiona la excitación del nódulo SA y un aumento en la producción de potenciales de acción y por tanto en la frecuencia cardiaca.

De manera alternativa, cuando el sistema nervioso parasimpático es estimulado hay liberación de acetilcolina en las terminaciones nerviosas cardiacas parasimpáticas, lo cual tiene el efecto de reducir la rapidez con que se generan potenciales de acción en el nódulo SA y por tanto la frecuencia cardiaca.

Tanto el sistema nervioso simpático como el parasimpático están activos todo el tiempo, aunque por lo general, el parasimpático es la influencia dominante. Esto puede comprobarse si el nervio neumogástrico o “vago” (par craneal X) se secciona, por ejemplo, en receptores de trasplante de corazón. En estas situaciones el nódulo SA produce potenciales de acción a un ritmo de 100 por minuto, de modo que la frecuencia cardiaca aumenta a 100 latidos por minuto. La eliminación de la influencia del sistema nervioso parasimpático (mediante la desconexión del nervio neumogástrico) elimina el efecto reductor de la frecuencia cardiaca de este sistema.

Barorreceptores y centro cardiovascular

Los barorreceptores son receptores mecánicos especializados que se localizan en el seno carotídeo y el arco aórtico. Son sensibles a la cantidad de estiramiento en esos vasos sanguíneos y emiten señales directas vía el sistema nervioso autónomo al centro cardiovascular en el bulbo raquídeo.

El centro cardiovascular del bulbo raquídeo es el principal centro para el control de la actividad neurovegetativa (autónoma) que afecta el corazón. Como se observa en la figura 8-17, el centro cardiovascular está formado por dos subcentros:

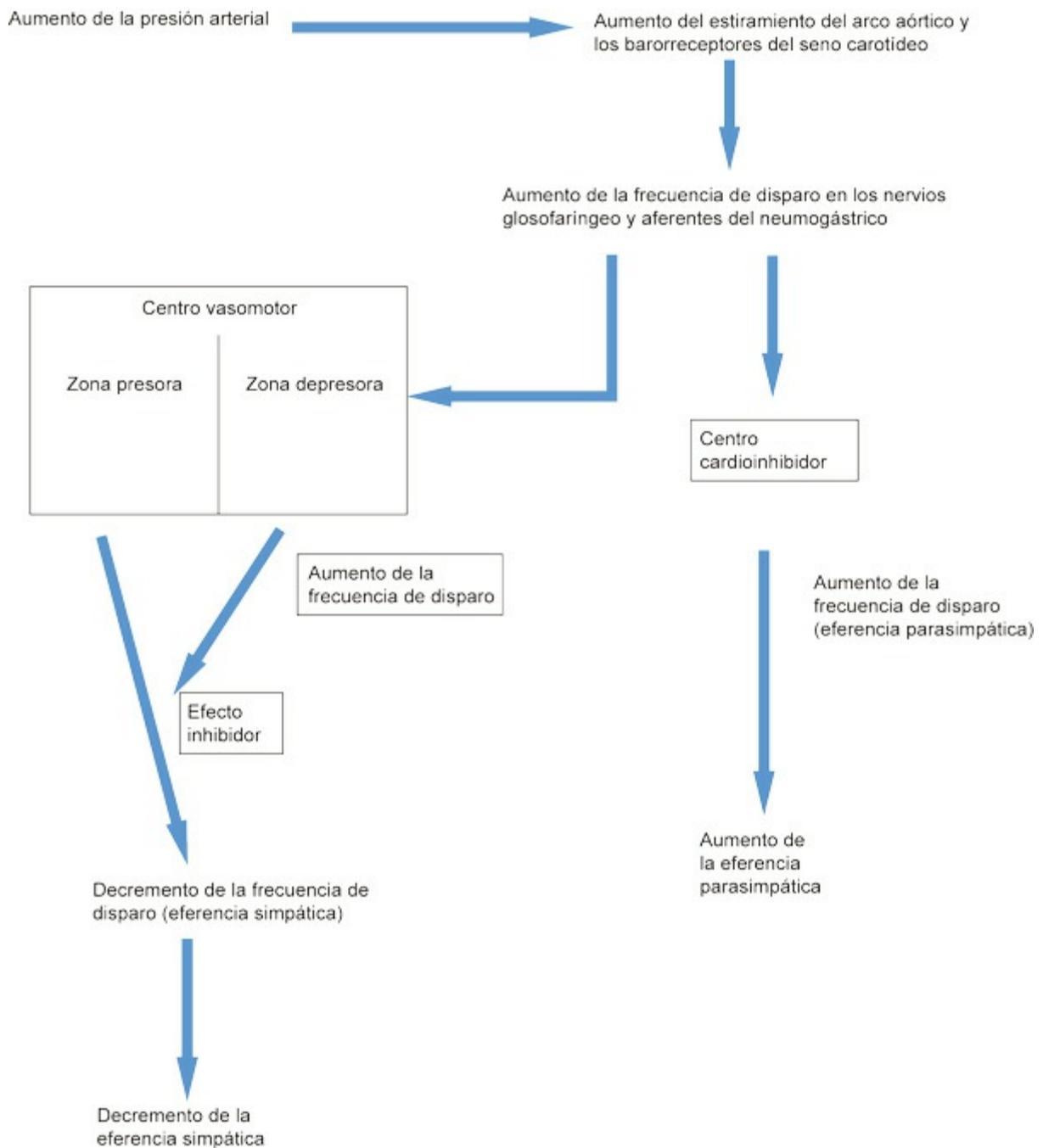


Figura 8-17. Reflejo barorreceptor.

- El centro cardioinhibidor controla de manera directa la eferencia parasimpática hacia el corazón (en especial el nódulo SA); así, un efecto de la eferencia desde este centro tiene el efecto de reducir la frecuencia cardiaca.
- El centro vasomotor se subdivide a su vez en la zona presora y la zona depresora. La primera tiene una eferencia relativamente constante de potenciales de acción hacia el corazón vía el sistema nervioso simpático. Esto tiene un efecto directo tanto en la frecuencia cardiaca como en la fuerza de la contracción ventricular (y por lo tanto en el volumen sistólico) así como efectos en la vasculatura, que más tarde afectarán el funcionamiento del corazón al cambiar precarga y poscarga. La eferencia desde la zona presora es moderada por nervios que transmiten impulsos desde la zona depresora, los

cuales tienen un efecto inhibitor sobre la transmisión de impulsos desde la zona presora. Así, puede considerarse que los impulsos nerviosos de la zona depresora actúan como un “collar” o tapón: a mayor número de impulsos de la zona depresora más apretado se hace el collar o tapón, lo cual reduce el número de impulsos de la zona presora al corazón, y por tanto el efecto sobre la frecuencia cardíaca y la fuerza de contracción.

Actividad hormonal

En condiciones normales, dos hormonas se relacionan con el control de la frecuencia cardíaca:

- Adrenalina: secretada en la médula suprarrenal. La adrenalina tiene el mismo efecto que la noradrenalina liberada por el sistema nervioso simpático.
- Tiroxina: de la glándula tiroides. Liberada en grandes cantidades, la tiroxina tiene el efecto de aumentar la frecuencia cardíaca.

Conclusión

El corazón es un órgano situado en la cavidad torácica, entre los pulmones. Aunque es un solo órgano, el corazón funciona como dos bombas separadas formadas por cuatro cámaras:

- La bomba del hemicardio derecho, constituida por la aurícula derecha y el ventrículo derecho, bombea sangre por la circulación pulmonar.
- La bomba del hemicardio izquierdo, comprendida por la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo, bombea sangre por la circulación sistémica.

El corazón está envuelto en un saco protector doble llamado pericardio. Bajo el pericardio se encuentra el músculo cardíaco (miocardio), un tipo de músculo especializado con estructura ramificada y dispuesto en haces espirales para formar las paredes de las distintas cámaras cardíacas.

El control del músculo cardíaco se logra mediante una serie especializada de células nerviosas que constituyen el sistema de conducción del corazón, el cual incluye:

- El nódulo SA, el marcapasos del corazón.
- El nódulo AV, una zona del sistema de conducción cardíaco que controla el envío del potencial de acción a los ventrículos.
- Fibras de Purkinje, fibras conductoras que ayudan a la distribución rápida del potencial de acción por los ventrículos.

El flujo de sangre a través del corazón se basa en cambios de presión en el ciclo cardíaco. Estos cambios de presión también causan la apertura y cierre de las válvulas cardíacas, con lo que controlan aún más el flujo de sangre.

La regulación de la actividad cardíaca se basa en las acciones de:

- Hormonas, en especial adrenalina.
- Actividad del sistema nervioso autónomo, por ejemplo vía los centros cardiovasculares.

Glosario

Aorta. Principal arteria que emerge del ventrículo izquierdo.

Arterial. Relativo a las arterias.

Arterias coronarias. Arterias que irrigan el miocardio con sangre oxigenada.

Aurículas. Cámaras superiores del corazón.

Automatismo. Capacidad de determinadas células de generar su propio potencial de acción sin un estímulo externo.

Barorreceptores. Receptores mecánicos especializados que se encuentran en el arco aórtico y el seno carotídeo.

Bulbo raquídeo. Mitad inferior del tallo encefálico.

Células nodales. También llamadas células marcapasos, son células especializadas que no sólo generan impulsos eléctricos, sino además los generan a intervalos regulares. Los dos principales grupos de estas células se localizan en el nódulo SA y el nódulo AV.

Centro cardioinhibidor. Parte del centro cardiovascular; cuando es estimulado, el principal efecto es reducir la frecuencia cardiaca.

Centro cardiovascular. Localizado en el bulbo raquídeo, este centro controla la mayor parte de la actividad nerviosa que afecta el corazón.

Centro vasomotor. Parte del centro cardiovascular; tiene efectos sobre la frecuencia cardiaca y la fuerza de contracción del corazón.

Ciclo cardiaco. Secuencia de sucesos que ocurre cuando el corazón late.

Circulación pulmonar, también conocida como circulación menor. Aparato circulatorio de los pulmones.

Circulación sistémica, también conocida como circulación mayor. Aparato circulatorio del cuerpo (excluidos los pulmones).

Desmosoma. Estructura celular especializada cuya función es mantener junto un grupo de células.

Despolarización. Cambio en el potencial eléctrico de una membrana celular a una carga más positiva.

Diástole. Relajación de una cámara cardiaca (aurícula o ventrículo).

Endocardio. Capa más interna que recubre las cámaras del corazón y también las válvulas cardiacas.

Epitelio. Capa de tejido corporal que recubre el interior de cavidades y la superficie de muchas estructuras.

Escotadura dicroítica. Pequeña protuberancia en el trazo de presión de las arterias creada por un flujo retrógrado de sangre después del cierre de la válvula aórtica.

Fibras de Purkinje (sistema). Fibras conductoras especializadas que transportan rápidamente potenciales de acción a través de las paredes del ventrículo.

Gasto cardiaco. Cantidad de sangre bombeada por un ventrículo, en mililitros por minuto.

Haz auriculoventricular. Haz de fibras nerviosas conductoras que transmiten potenciales de acción desde el nódulo AV hacia el sistema ventricular de conducción. También llamado haz de His y haz AV.

Haz de His. Véase **Haz auriculoventricular**.

Hormona. Sustancia liberada en la sangre por el sistema endocrino que ejerce control fisiológico sobre el funcionamiento de células u órganos distintos de los que la produjeron.

Ion. Átomo o molécula con carga eléctrica.

Isovolumétrico. Sin cambio en el volumen (cantidad).

Líquido pericárdico. Película delgada de líquido que reduce la fricción entre las membranas pericárdicas cuando el corazón se mueve durante su ciclo de contracción y relajación.

Miocardio. Capa muscular del corazón.

Miocito. Célula del músculo cardiaco.

Nódulo auriculoventricular. También llamado nódulo AV. Zona especializada de células cardiacas ubicada por arriba del punto en que la aurícula derecha y el ventrículo derecho se encuentran.

Nódulo sinoauricular. También conocido como nódulo SA. Zona especializada de las células cardiacas en la parte superior de la aurícula derecha. Suele llamársele el marcapasos del corazón.

Pericardio fibroso. Capa resistente más externa del pericardio que protege el corazón, evita su estiramiento excesivo y ayuda a fijarlo en su lugar.

Pericardio parietal. Capa más externa del pericardio seroso, está fusionado al pericardio fibroso.

Pericardio. Saco de dos capas que envuelve el corazón.

Pericardio seroso. Capa interna (doble) del pericardio comprendida por las capas pericárdicas parietal y visceral.

Pericardio visceral. Capa interna del pericardio seroso (también llamado epicardio); se adhiere con firmeza a la superficie del corazón.

Poscarga. La “carga” contra la cual debe bombear el corazón, creada en mayor medida por la presión arterial (presión de la sangre en las arterias).

Potencial de acción. Cambio momentáneo en el estado eléctrico de una pared celular.

Potencial de acción cardiaco. Potencial de acción especializado de las células del músculo cardiaco; tiene mayor duración que los potenciales de acción del resto de las células.

Presión telediastólica. Presión creada por la sangre en una cámara dada (por lo común el ventrículo izquierdo) al final de la diástole.

Repolarización. Retorno del potencial eléctrico de una membrana celular a un estado de reposo negativo.

Sangre arterial. Sangre transportada por las arterias.

Sangre venosa. Sangre transportada en las venas.

Sarcolema Membrana de una célula muscular.

Seno coronario. Conjunto de venas que se reúnen para formar un solo vaso grande que devuelve sangre del miocardio a la aurícula derecha.

Sístole Contracción de una cámara cardiaca (aurícula o ventrículo).

Tabique interauricular. Pared divisoria entre las aurículas.

Tabique interventricular. Pared divisoria entre los ventrículos.

Tabique. Pared divisoria.

Tetania. Contracción involuntaria sostenida de un músculo.

Unión comunicante (o en hendidura). Conexión especializada entre membranas celulares que permite el paso de iones y moléculas.

Válvula aórtica. Válvula semilunar situada entre el ventrículo izquierdo y la aorta.

Válvula auriculoventricular. Nombre colectivo para las dos válvulas situadas entre las aurículas y los ventrículos (mitral y tricúspide).

Válvula bicúspide. La válvula AV situada entre la aurícula izquierda y el ventrículo izquierdo. También llamada válvula mitral.

Válvula mitral. Véase **Válvula bicúspide**.

Válvula pulmonar. Válvula semilunar situada entre el ventrículo derecho y la circulación pulmonar.

Válvula tricúspide. Válvula AV situada entre la aurícula derecha y el ventrículo derecho.

Válvulas semilunares. Válvulas situadas entre los ventrículos y la circulación pulmonar o sistémica (válvula aórtica y válvula pulmonar).

Vena cava inferior. Vena grande que devuelve sangre a la aurícula derecha desde las partes bajas del cuerpo.

Vena cava superior. Vena grande que devuelve sangre a la aurícula derecha desde la parte alta del cuerpo.

Venas pulmonares. Venas de la circulación pulmonar que devuelven sangre de los pulmones a la aurícula izquierda.

Venoso. Relativo a las venas.

Ventrículos. Cámaras inferiores grandes del corazón.

Volumen sistólico. Cantidad de sangre expulsada por un ventrículo en un latido.

Volumen telediastólico. Volumen de sangre en una cámara dada (por lo común el ventrículo izquierdo) al final de la diástole.

Bibliografía

- British National Formulary (2015) *Cardiac Glycosides*. <http://www.evidence.nhs.uk/formulary/bnf/current/2-cardiovascular-system/21-positive-inotropic-drugs/211-cardiac-glycosides> (accessed 24 November 2015).
- Clare, C. (2007) Valve disorders. In Hatchett, R. and Thompson, D.R. (eds), *Cardiac Nursing: A Comprehensive Guide*. London: Churchill Livingstone Elsevier; pp. 357–382.
- Jenkins, G.W. and Tortora, G.J. (2013) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*, 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Martini, F.H., Nath, J.L. and Bartholemew, E.F. (2014) *Fundamentals of Anatomy and Physiology*, 10th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- National Institute for Health and Care Excellence (2004) *Balloon Valvuloplasty for Aortic Valve Stenosis in Adults and Children*. NICE interventional procedures guidance [IPG78]. <http://www.nice.org.uk/Guidance/IPG78#> (accessed 24 November 2015).
- National Institute for Health and Care Excellence (2013) *Myocardial Infarction: Cardiac Rehabilitation and Prevention of Further MI*. NICE guidelines [CG172]. <https://www.nice.org.uk/guidance/cg172> (accessed 24 November 2015).
- National Institute for Health and Care Excellence (2014) *Lipid Modification Therapy for Preventing Cardiovascular Disease: Secondary Prevention*. NICE Pathways. <http://pathways.nice.org.uk/pathways/cardiovascular-disease-prevention#path=view%3A/pathways/cardiovascular-disease-prevention/lipid-modification-therapy-for-preventing-cardiovascular-disease.xml&content=viewnode%3Anodes-secondary-prevention> (accessed 24 November 2015).
- O’Grady, E (2007) *A Nurse’s Guide to Caring for Cardiac Intervention Patients*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- University of Michigan Health System (2014) *Coronary Angioplasty and Stenting*. http://www.med.umich.edu/cardiac-surgery/patient/adult/adultcandt/coronary_angioplasty.shtml (accessed 5 December 2015).

Lecturas adicionales

British Heart Foundation

<https://www.bhf.org.uk/>

La British Heart Foundation es la organización caritativa más grande de Reino Unido para enfermedades cardíacas. Su sitio de Internet tiene muchos recursos útiles para pacientes y profesionales.

Arritmia Alliance

<http://www.heartrhythmcharity.org.uk/www/436/0/About/>

La Arritmia Alliance es una alianza de varias organizaciones caritativas independientes dedicadas a crear conciencia sobre las arritmias cardíacas, mejorar su diagnóstica y elevar la calidad de vida de las personas que las padecen.

Resuscitation Council (RU)

<https://www.resus.org.uk/index.html>

El Resuscitation Council (RU) es un organismo dedicado a promover lineamientos de reanimación basados en evidencia y contribuir a salvar vidas a través de capacitación y educación.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. El saco doble que envuelve el corazón es el:
 - (a) Miocardio.
 - (b) Pericardio.
 - (c) Endocardio.
 - (d) Epicardio.
2. ¿Cuál cámara cardíaca tiene la pared muscular más gruesa?
 - (a) Ventrículo derecho.
 - (b) Aurícula derecha.
 - (c) Ventrículo izquierdo.
 - (d) Aurícula izquierda.
3. La sangre que fluye hacia la aurícula derecha proviene de:
 - (a) Los pulmones.
 - (b) El cuerpo (circulación sistémica o mayor).
 - (c) El hemicardio izquierdo.
 - (d) El hemicardio derecho.
4. La sangre bombeada desde el hemicardio izquierdo es llevada por:
 - (a) La vena cava.
 - (b) Las arterias pulmonares.
 - (c) La aorta.
 - (d) Las arterias coronarias.
5. La contracción de una cámara cardíaca se conoce como:
 - (a) Automatismo.
 - (b) Diástole.
 - (c) Isovolumétrica.
 - (d) Sístole.
6. El flujo de sangre por el corazón es causado por cambios en:
 - (a) Presión.
 - (b) Electricidad.
 - (c) Moléculas de transporte.
 - (d) Oxígeno.
7. La arteria que suministra sangre al frente del ventrículo izquierdo es la:
 - (a) Arteria descendente posterior.
 - (b) Arteria circunfleja.
 - (c) Arteria coronaria derecha.
 - (d) Arteria descendente anterior izquierda.
8. La excitación eléctrica normal del corazón comienza en:
 - (a) El haz de His.
 - (b) Las fibras de Purkinje.
 - (c) El nódulo AV.
 - (d) El nódulo SA.
9. El efecto del aumento de actividad del sistema nervioso parasimpático es:
 - (a) Incrementar la frecuencia cardíaca.

- (b) Reducir la frecuencia cardíaca.
 - (c) Incrementar la fuerza de contracción.
 - (d) Reducir la fuerza de contracción.
10. La precarga depende principalmente de:
- (a) VTS.
 - (b) VTD.
 - (c) La ley de Frank–Starling.
 - (d) La liberación de adrenalina.

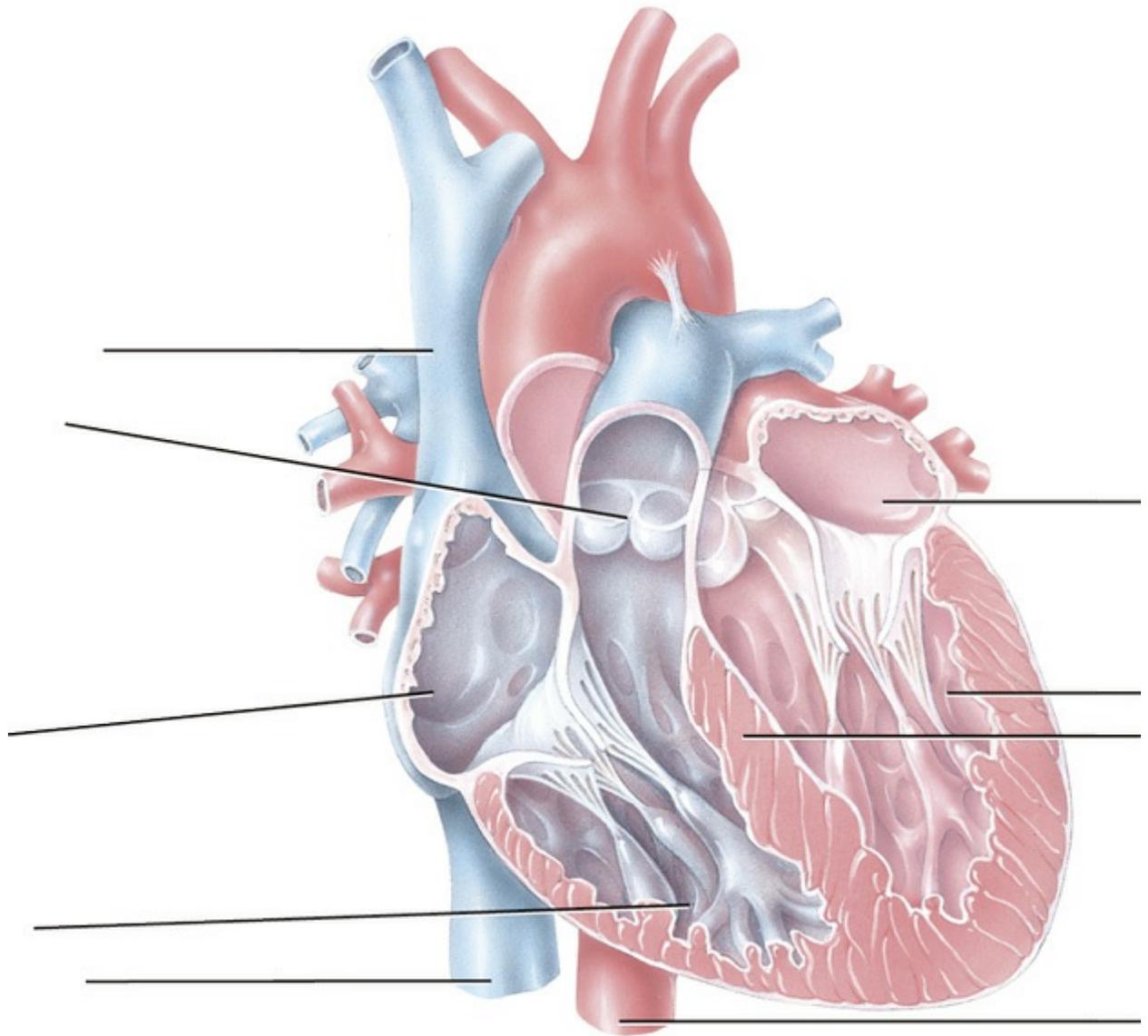
Falso o verdadero

1. Las contracciones del músculo cardíaco duran 10 a 15 veces más que las contracciones del músculo esquelético.
2. El ventrículo derecho tiene la pared más delgada que el ventrículo izquierdo.
3. La edad es un factor de riesgo para la insuficiencia de válvula cardíaca.
4. El volumen de sangre que queda en el ventrículo al final de una contracción ventricular es el VTD.
5. La liberación de hormona tiroxina sólo afecta la frecuencia cardíaca.
6. El centro cardioinhibidor controla la eferencia nerviosa simpática hacia el corazón.
7. El cateterismo cardíaco puede realizarse a través de la arteria femoral.
8. Es posible que haya actividad eléctrica en el corazón durante un paro cardíaco.
9. El endotelio cubre las válvulas cardíacas así como la capa interna del corazón.
10. El nódulo AV es el marcapasos del corazón.

Rotule el diagrama 1

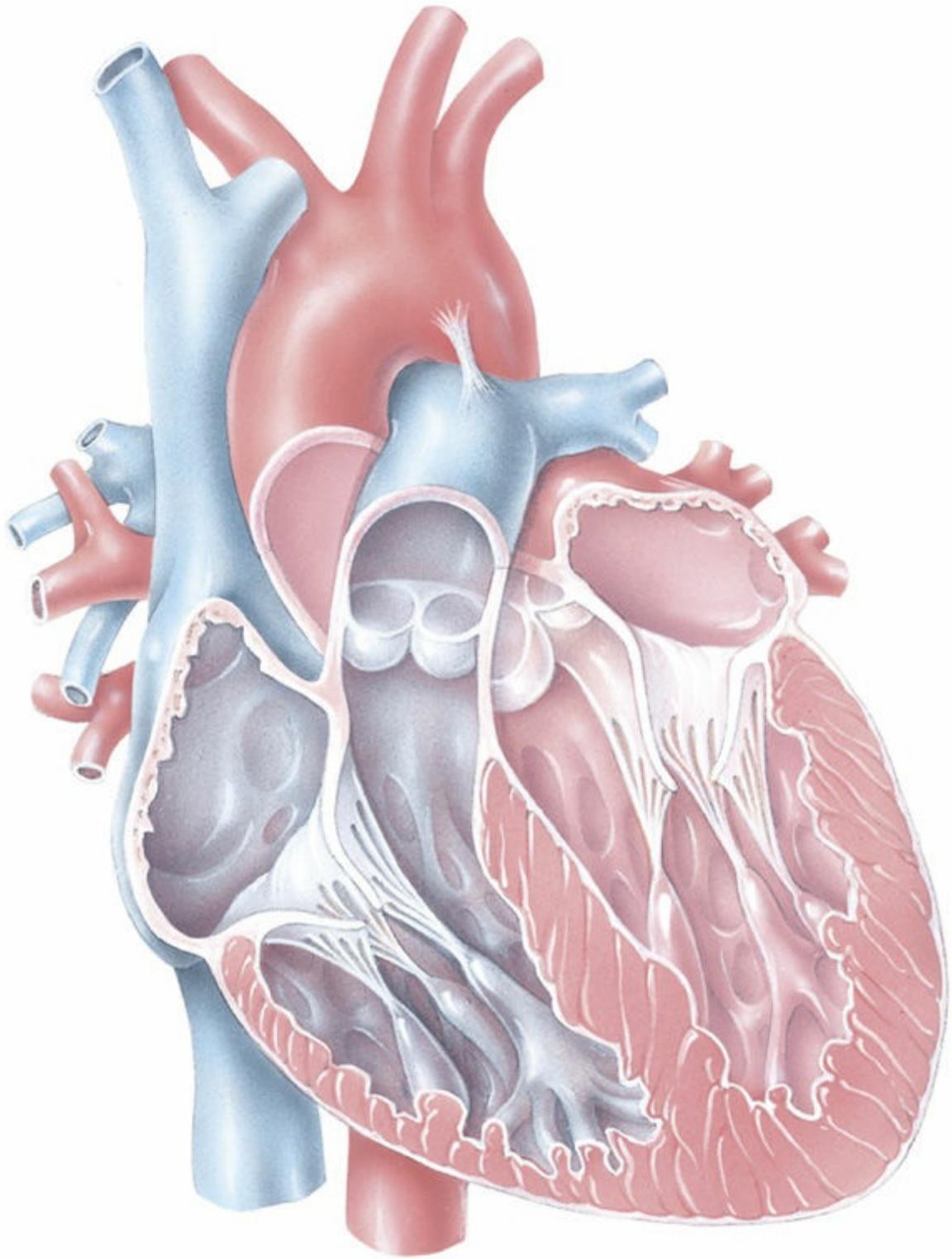
Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Vena cava superior, Válvula pulmonar, Aurícula derecha, Ventrículo derecho, Vena cava inferior, Aurícula izquierda, Ventrículo izquierdo, Tabique interventricular, Aorta descendente



Rotule el diagrama 2

En el diagrama que sigue, trace flechas para indicar el flujo de sangre por el corazón.



Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S | Z | Q | P | U | O | T | I | C | O | I | M | T | O | R | A | C | I | C | A |
| I | H | R | E | F | R | A | C | T | A | R | I | O | H | G | P | J | P | K | F |
| N | S | P | R | O | N | V | I | J | U | M | O | T | B | T | X | I | U | Y | L |
| O | R | T | I | O | M | E | H | I | R | U | F | J | D | R | F | G | L | K | A |
| A | W | R | C | N | O | V | D | C | I | O | I | U | H | I | K | Z | M | F | C |
| T | N | V | A | L | V | A | E | Y | C | D | B | I | M | C | N | V | O | M | L |
| R | G | S | R | G | A | L | D | T | U | A | R | D | I | U | M | E | N | M | D |
| I | Q | I | D | E | R | V | N | F | L | S | I | J | T | S | F | R | A | H | F |
| C | C | S | I | B | E | U | E | H | A | T | L | C | R | P | W | T | R | A | P |
| U | I | O | O | F | M | L | R | J | E | U | L | E | A | I | S | I | Y | I | S |
| L | S | N | M | G | O | A | P | R | N | K | A | J | L | D | M | C | T | R | A |
| A | Q | E | U | E | C | J | I | A | P | I | T | E | R | E | Y | E | A | U | R |
| R | L | T | C | F | R | S | S | N | A | Z | K | N | I | A | O | R | B | I | C |
| Y | T | S | E | Q | A | I | S | U | O | Y | T | R | A | G | C | N | I | K | O |
| A | S | E | N | O | S | Q | I | L | U | S | N | M | U | C | Y | X | Q | K | L |
| B | C | B | K | O | S | R | C | I | R | A | O | U | S | P | I | B | U | T | E |
| P | U | R | K | I | N | J | E | M | P | J | D | N | J | B | E | T | E | L | M |
| G | L | E | H | O | L | E | D | E | T | J | U | P | E | P | S | Q | R | B | A |
| B | T | P | O | R | D | I | A | S | T | O | L | E | Y | V | R | S | I | O | A |
| S | O | I | D | R | A | C | O | D | N | E | O | S | A | I | T | L | C | C | A |

Aórtica, Endocardio, Pericardio, Sarcómera, Estenosis, Vértice, Mitral, Pulmonar, Semilunar, Torácica, Aurícula, Miocito, Purkinje, Tabique, Tricúspide, Valva, Miofibrilla, Refractario, Sinoauricular, Válvula, Diástole, Nódulo, Sarcolema, Seno, Venoso

Llene los espacios

La excitación/distribución eléctrica normal comienza en el nódulo _____, que se localiza en la _____ derecha, y se transmite con rapidez por las aurículas en vías rápidas. El impulso se transmite al nódulo _____ (AV), donde cualquier ulterior transmisión es demorada por aproximadamente 0.1 _____. Esto asegura que las aurículas se hayan contraído por completo antes que se inicie la _____ ventricular. Una vez que el impulso se ha “retenido” en el nódulo AV se transmite por el haz de His (haz AV) a las vías rápidas de las dos ramas _____. Los haces se dividen entonces en ramas cada vez más pequeñas del sistema de _____, que transmite los impulsos a los músculos de los _____.

auriculoventricular, segundo, contracción, aurícula, ventrículos, sinoauricular, Purkinje, del haz

Para profundizar

1. ¿Qué preparación requiere un paciente antes de un cateterismo cardiaco (para angiografía)?
2. ¿Qué es la rehabilitación cardiaca?
3. ¿Cuáles son los factores de riesgo para una coronariopatía?
4. ¿Qué le recomendaría a un paciente al que se le ha implantado un marcapasos?
5. Un paciente al que el lector atiende requiere cirugía de injerto de derivación aortocoronaria. Investigue qué puede hacer para ayudarlo a comprender la operación a que se le someterá.
6. ¿Qué le recomendaría a un paciente que desea saber cómo comenzar a hacer ejercicio después de un infarto de miocardio?
7. ¿Qué pruebas de sangre se realizan para detectar un infarto de miocardio?
8. ¿Por qué se prescribe ácido acetilsalicílico a los pacientes con cardiopatía coronaria?
9. Las diferentes derivaciones en un ECG de 12 derivaciones en reposo corresponden a diferentes partes del corazón. Determine cuál derivación representa cada territorio del corazón.
10. ¿Por qué la frecuencia cardiaca en reposo de una persona es más baja a mejor condición física?

Afecciones

La siguiente es una lista de afecciones relacionadas con el corazón. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada una de esas afecciones. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej., personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Insuficiencia cardiaca

Infarto de miocardio

Estenosis aórtica

Insuficiencia mitral

Pericarditis



Capítulo 9

Aparato digestivo

Louise McErlean

Ponga a prueba sus conocimientos previos

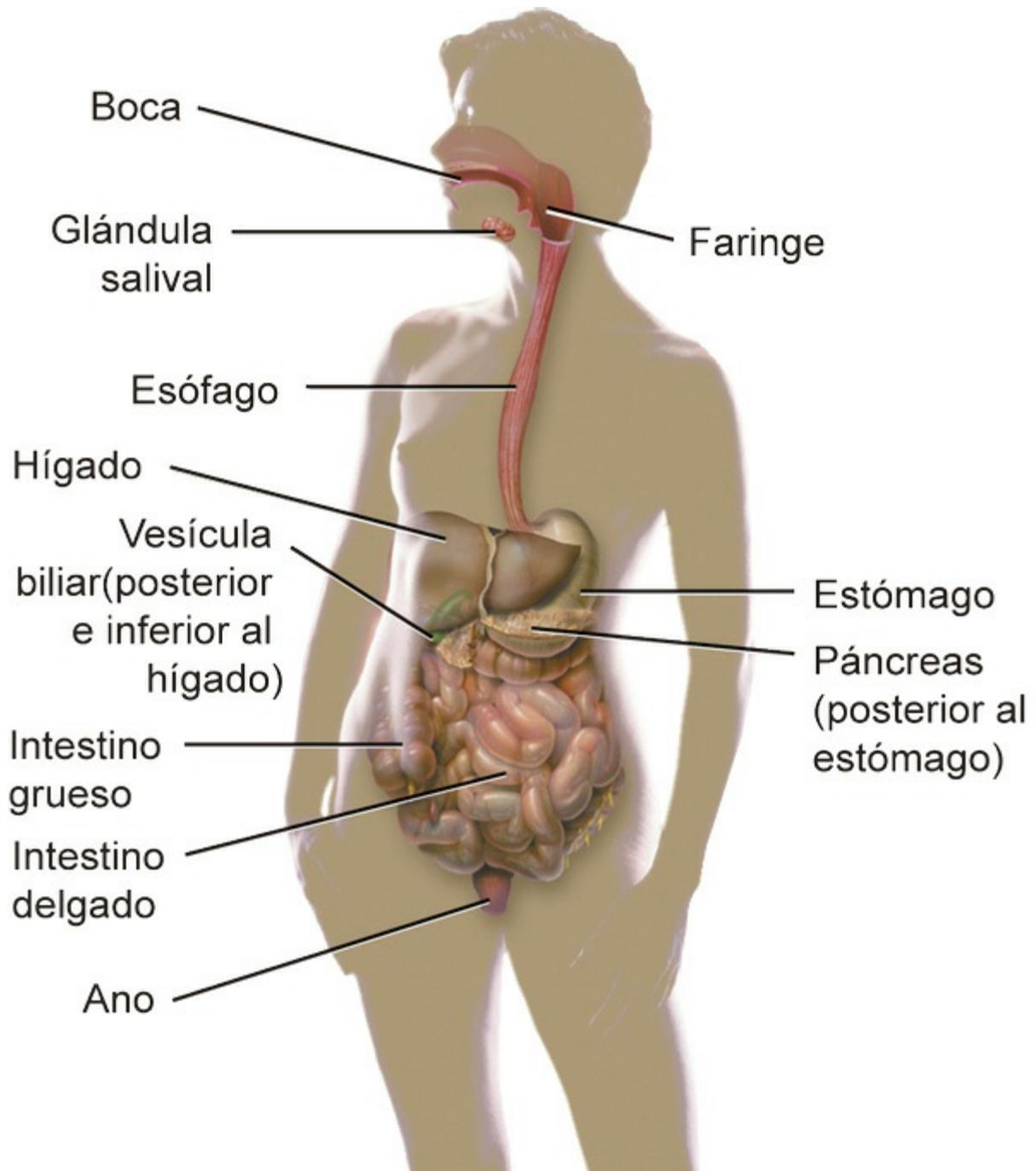
- ¿Cuál es la función principal del aparato digestivo?
- Enumere las estructuras que forman el aparato digestivo
- Indique las hormonas y enzimas que actúan en el aparato digestivo
- Nombre los principales grupos de alimentos
- Distinga entre macronutrientes and micronutrientes

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Identificar los órganos del aparato digestivo, incluidos los órganos accesorios
- Describir las funciones de cada uno de estos órganos, así como la función general del aparato digestivo
- Explicar la acción de las enzimas y hormonas relacionadas con la digestión de proteínas, carbohidratos y grasas
- Describir en qué se degradan las proteínas, carbohidratos y grasas, y cómo utiliza el organismo estos elementos
- Describir la estructura y función de los órganos accesorios del aparato digestivo
- Enumerar las vitaminas y minerales comunes y los problemas relacionados con su déficit o exceso

Mapa del cuerpo



Introducción

El aparato digestivo también se conoce como tubo digestivo. Este extenso aparato mide unos 10 m de longitud. Comienza en la boca, pasa por las cavidades torácica, abdominal y pélvica, y termina en el ano (figura 9-1). Su principal función es convertir el alimento ingerido en una forma que pueda ser utilizada por las células del cuerpo a fin de realizar sus funciones específicas. En este capítulo se analiza la estructura y función del aparato digestivo y se explica el modo en que los nutrientes ingeridos se degradan y utilizan en el metabolismo celular y en el crecimiento y reparación.

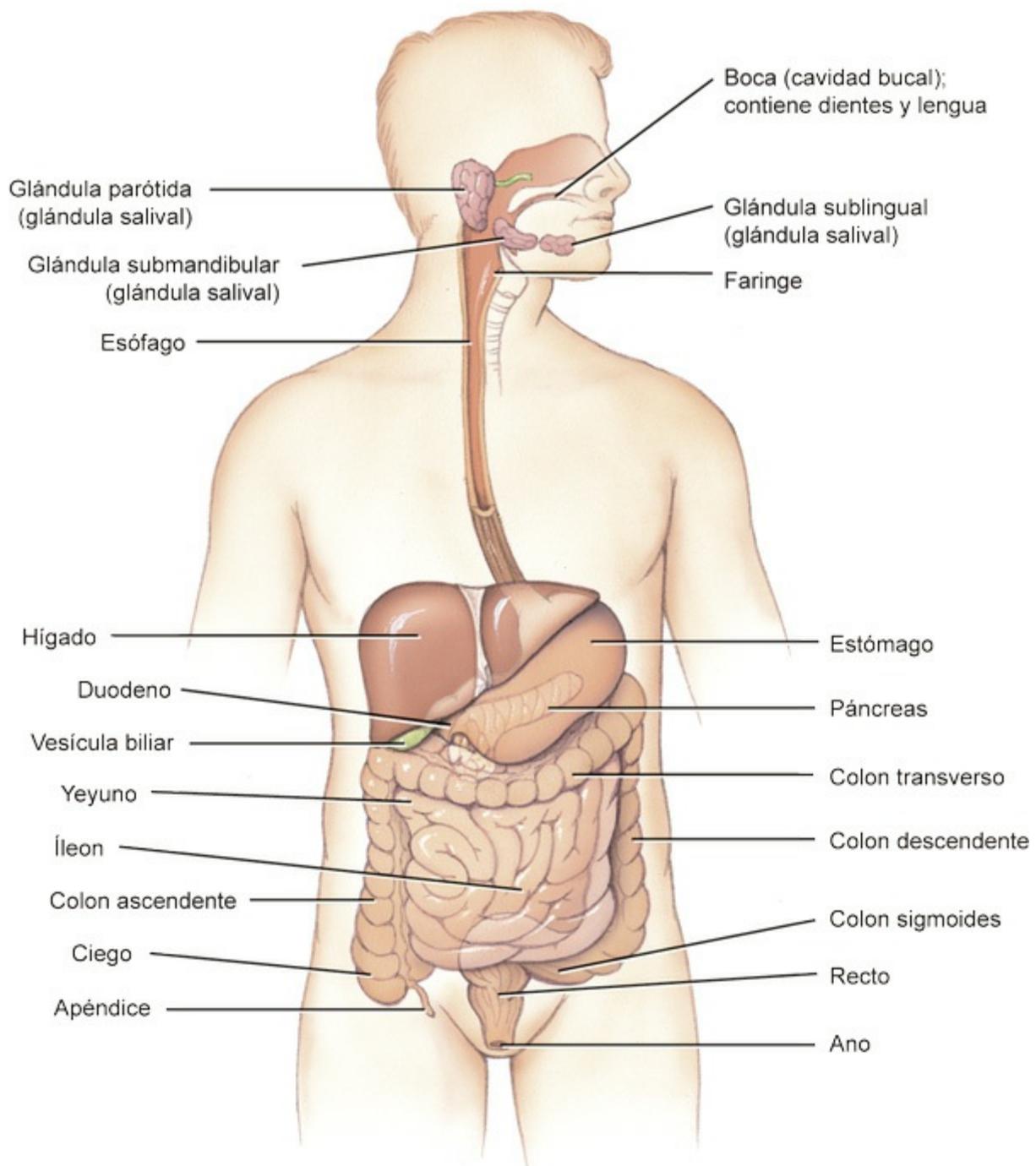


Figura 9-1. Aparato digestivo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).

Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Actividad del aparato digestivo

La actividad del aparato digestivo puede categorizarse en cinco procesos:

- **Ingestión:** suministro de alimento al aparato digestivo.
- **Propulsión:** desplazamiento del alimento a lo largo del aparato digestivo.
- **Digestión:** degradación del alimento. Puede ser *mecánica*, cuando el alimento se mastica o desplaza por el aparato digestivo, o *química*, por la acción de *enzimas* mezcladas con el alimento a su paso por el aparato digestivo.
- **Absorción:** los productos de la digestión salen del aparato digestivo e ingresan en la sangre o los capilares linfáticos para su distribución a los lugares en los que se les requiere.
- **Eliminación:** los productos de desecho de la digestión se excretan del cuerpo en la forma de heces.

Organización del aparato digestivo

El aparato digestivo consiste de estructuras principales y órganos accesorios. Las estructuras principales son la boca, faringe, esófago, estómago, intestino delgado e intestino grueso. Los órganos accesorios también contribuyen al funcionamiento del aparato y son las glándulas salivales, el hígado, vesícula biliar y páncreas.

Órganos del aparato digestivo

Boca (cavidad bucal)

El alimento entra en la boca o cavidad bucal, y es aquí donde inicia la digestión. La cavidad bucal consiste de varias estructuras (figura 9-2). El alimento ingresa en la cavidad bucal en un proceso llamado **ingestión**, y ahí se mezcla con saliva.

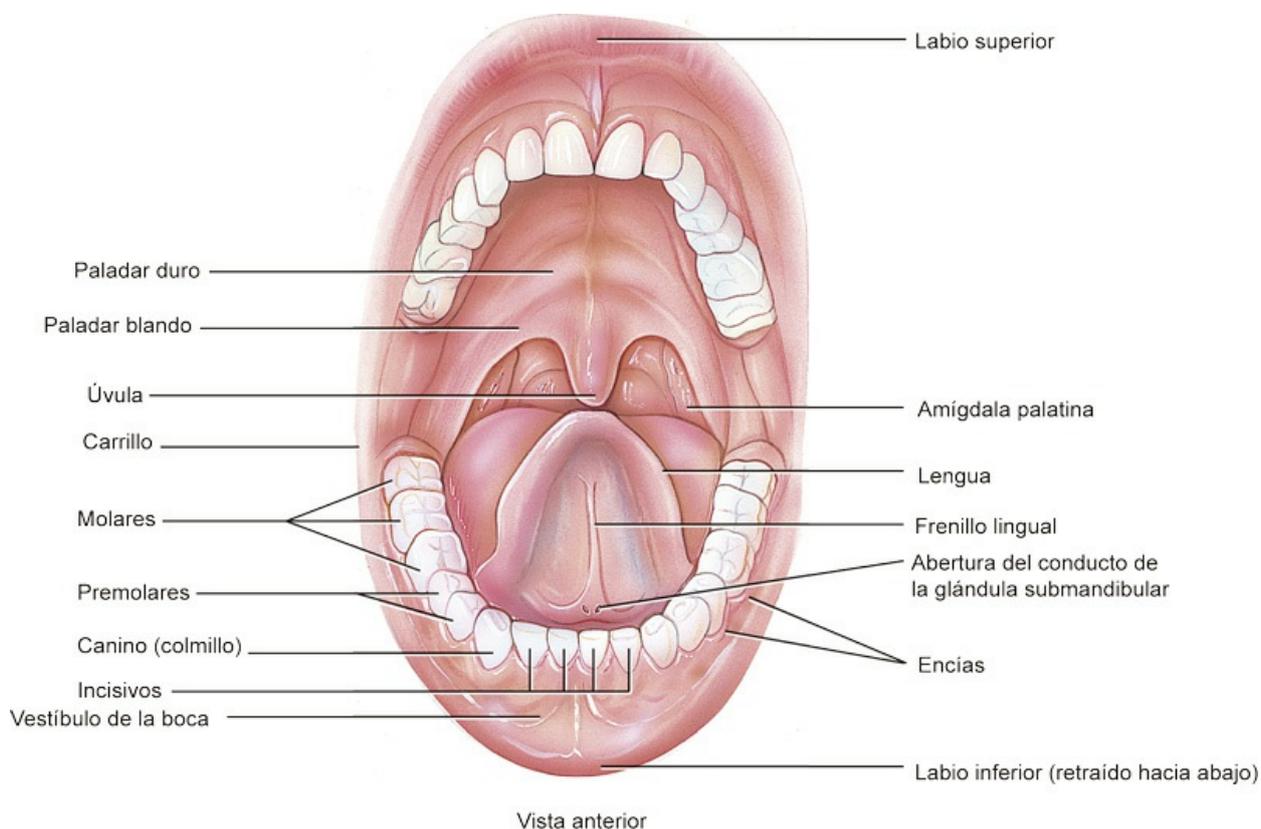


Figura 9-2. Cavidad bucal. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los **labios** y **carrillos** consisten en músculo y tejido conjuntivo. Esto les permite mover en la boca el alimento mezclado con saliva e iniciar la **digestión mecánica**. Los dientes contribuyen a la digestión mecánica moliendo y desgarrando el alimento. Este proceso, junto con el mezclado con saliva, se denomina **masticación**. La cavidad bucal puede exponerse a alimento muy caliente y muy frío así como a partículas alimenticias abrasivas. Está recubierta con células de epitelio pavimentoso estratificado que secretan moco. Esta capa confiere protección contra la abrasión, los efectos del calor y el desgaste y desgarramiento continuos.

Los labios y carrillos también intervienen en el habla y la expresión facial.

Lengua

La lengua es una estructura grande de músculo voluntario que ocupa gran parte

de la cavidad bucal. En su parte posterior está unida al hueso **hioides** y en la inferior a un **frenillo** (figura 9-2).

La superficie superior de la lengua está cubierta de epitelio pavimentoso estratificado para la protección contra desgaste y desgarros. Esta superficie contiene también muchas proyecciones pequeñas llamadas papilas gustativas. Estas papilas contienen las terminaciones nerviosas responsables del sentido del gusto (Tortora y Derrickson, 2012). Contribuyen al disfrute del alimento. Además del sentido del gusto, otras funciones de la lengua son la deglución, retención y desplazamiento del alimento en la cavidad bucal, y el habla.

Paladar

El paladar forma el techo de la boca y consiste de dos partes: paladar duro y paladar blando. El paladar duro tiene localización anterior y es óseo. El paladar blando se sitúa en la parte posterior y consiste en músculo esquelético y tejido conjuntivo (figura 9-2). El paladar interviene en la deglución. Las **amígdalas palatinas** se sitúan en forma lateral y son tejido linfático. La **úvula** es un pliegue de tejido que se encuentra en el centro del paladar blando.

Dientes

Los dientes temporales o deciduos (dientes de leche) comienzan a emerger hacia los seis meses de edad. Hay 20 dientes temporales, que son sustituidos por los dientes permanentes alrededor de los seis años de edad (Nair and Peate, 2013). Hay 32 dientes permanentes. De ellos, 16 se localizan en el arco maxilar (maxilar superior) y 16 en la mandíbula (maxilar inferior) (figura 9-3).

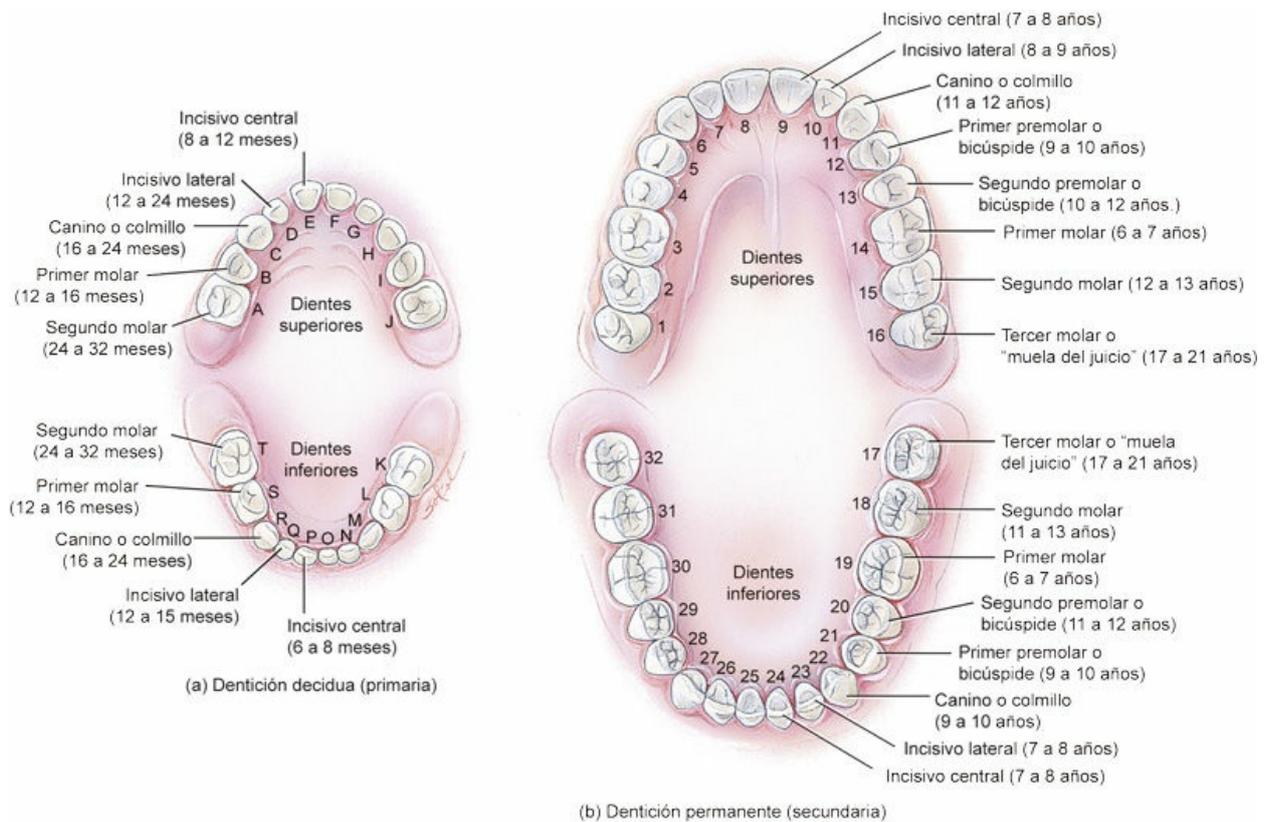


Figura 9-3. (a, b) Dientes. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los caninos e incisivos son dientes especializados en cortar y desgarrar. Los premolares y molares se usan para moler y triturar el alimento. Pese a sus distintas funciones y forma, la estructura de todos los dientes es la misma. La parte visible del diente se llama **corona**. La corona sobresale de la **encía**. El centro del diente se denomina **cavidad pulpar** (o pulpa). Hay vasos sanguíneos y linfáticos, así como nervios, que entran y salen del diente hasta y desde aquí. El diente recibe nutrimentos y sensaciones a través de la pulpa. Alrededor de ésta hay una matriz calcificada, no diferente del hueso, llamada **dentina**. La dentina está rodeada por un material protector muy duro llamado **esmalte**. El cuello del diente es donde la corona se une a la raíz. Los dientes están anclados en un alvéolo por medio de un material similar al hueso llamado **cemento**, y la función de los dientes es masticar el alimento.

Glándulas salivales

Hay tres pares de glándulas salivales (figura 9-4). Las **glándulas parótidas** son las más grandes y se ubican en posición anterior a los oídos. La saliva de las glándulas parótidas ingresa en la cavidad bucal cerca del nivel del segundo diente molar superior. Las glándulas submandibulares se sitúan abajo de la mandíbula, a cada lado de la cara. La saliva de estas glándulas entra en la cavidad bucal desde cada lado del frenillo de la lengua. Las glándulas sublinguales son las más pequeñas. Se localizan en el piso de la boca.

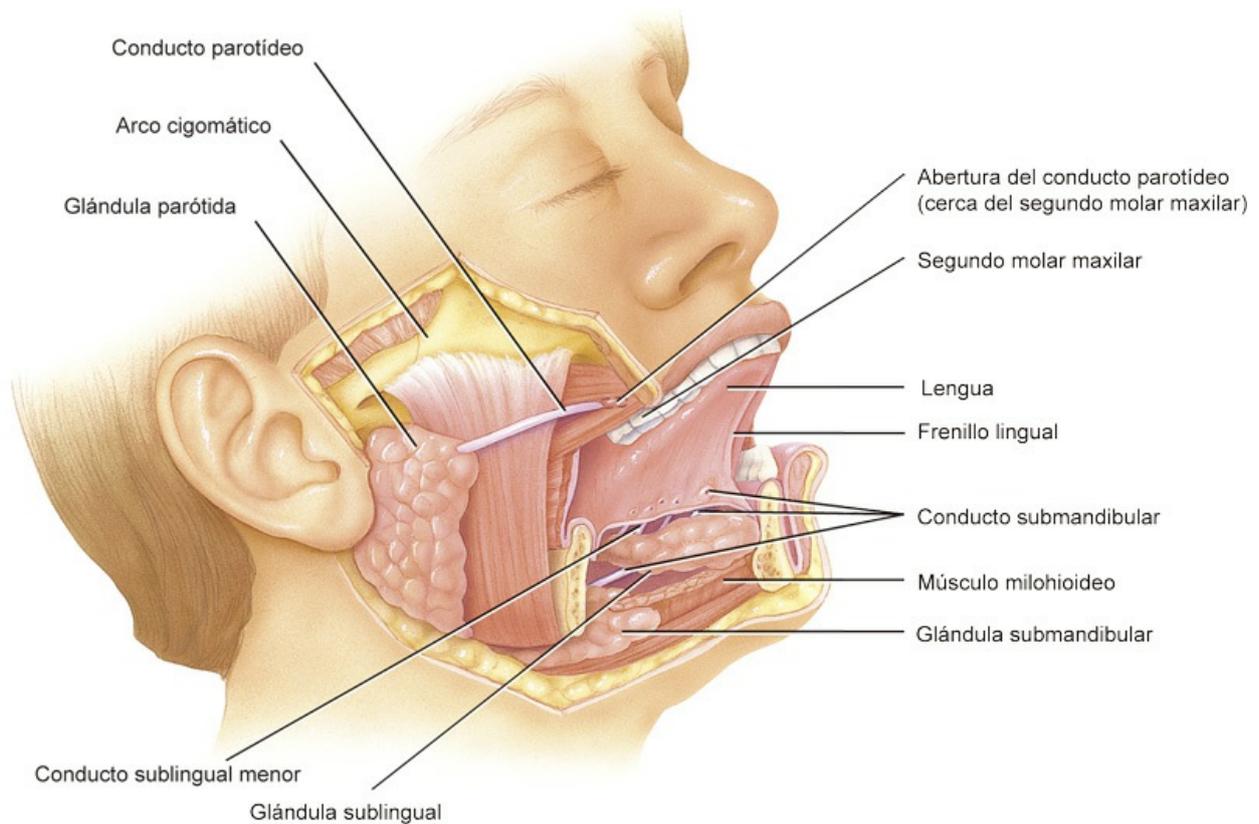


Figura 9-4. Glándulas salivales. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Aunque la saliva se secreta de manera continua a fin de mantener húmeda la cavidad bucal, la actividad de las fibras parasimpáticas que inervan las glándulas salivales causa una mayor producción de saliva en respuesta a la vista, el olor o el sabor del alimento. La acción de fibras simpáticas reduce la secreción de saliva.

En el individuo sano, cada día se secreta alrededor de 1 a 1.5 L de saliva. La saliva contiene:

- Agua.
- Amilasa salival.
- Moco.
- Sales minerales.
- Lisozima.
- Inmunoglobulinas.
- Factores de la coagulación sanguínea.

La saliva tiene varias funciones importantes:

- La amilasa salival es una enzima digestiva responsable de iniciar la degradación de las moléculas de carbohidratos, desde polisacáridos complejos hasta el disacárido maltasa.

- La naturaleza líquida de la saliva ayuda a humedecer y lubricar el alimento que entra en la boca. Esto facilita la retención del alimento en la boca y también ayuda a formar el bolo alimenticio en preparación para la deglución.
- La secreción continua de saliva es limpiadora, y ayuda a mantener la humedad en la cavidad bucal. La falta de humedad puede ocasionar infecciones de la mucosa bucal y la formación de úlceras bucales.
- La cavidad bucal es una vía de entrada para patógenos desde el ambiente externo. La lisozima, un componente de la saliva, tiene efecto antibacteriano. Las inmunoglobulinas y los factores de la coagulación también contribuyen a evitar infecciones.
- El sentido del gusto sólo es posible cuando las sustancias alimenticias están húmedas. Se requiere saliva para humedecer el alimento.

Consideraciones clínicas

Cuidados de la boca

Las personas enfermas a menudo están deshidratadas y por tanto su producción de saliva es reducida. Esto aumenta el riesgo de infecciones bucales, ya que el desgaste y los desgarros dentro de la cavidad bucal aumentan. La reducción en la cantidad de saliva arrastra menos patógenos hacia el ambiente ácido del estómago, donde suelen ser destruidos. La cavidad bucal constituye una vía de entrada para los patógenos de las vías respiratorias, y por lo tanto las prácticas adecuadas de higiene bucal ayudan a prevenir infecciones respiratorias, en particular en pacientes vulnerables a causa de una enfermedad aguda, tratamientos contra el cáncer o inmovilidad.

En los enfermos, la alimentación es esencial para la reparación de los tejidos; sin embargo, la falta de saliva hace que el alimento no tenga su sabor habitual. No se forma con facilidad el bolo alimenticio del tamaño adecuado para su deglución. Además, esto puede hacer que el paciente deje de comer y beber, que pierda el apetito y quizá que se demore su recuperación.

La enfermedad puede hacer que el individuo pase por alto su higiene. Es fácil que omita los cuidados bucales si está comiendo muy poco. Sin embargo, este dato debe ser abordado por la enfermera y el personal de salud en forma especial.

Faringe

La faringe consta de tres partes: **bucofaringe**, **nasofaringe** y **laringofaringe**. La nasofaringe se considera una estructura del aparato respiratorio. Bucofaringe y laringofaringe son vías tanto para el alimento como para los gases respiratorios (figura 9-5). La **epiglotis** se encarga de cerrar la entrada a la laringe durante la deglución, y esta acción esencial impide el ingreso de alimento en la laringe y la obstrucción de las vías respiratorias.

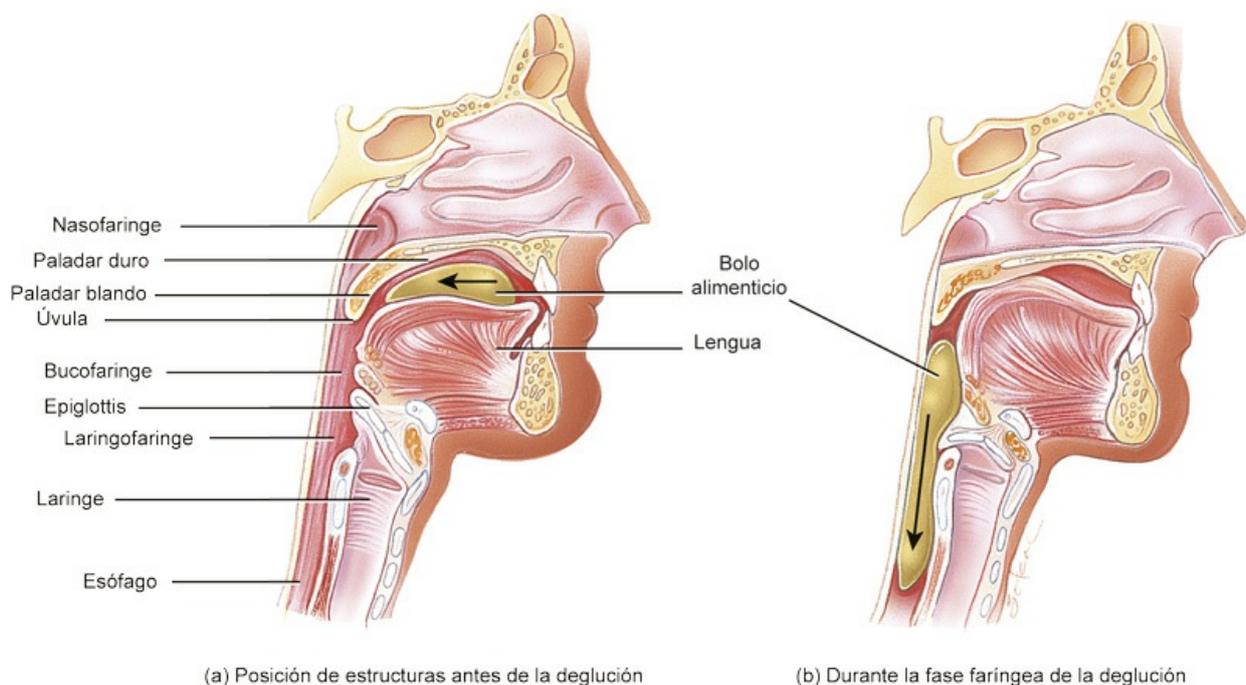
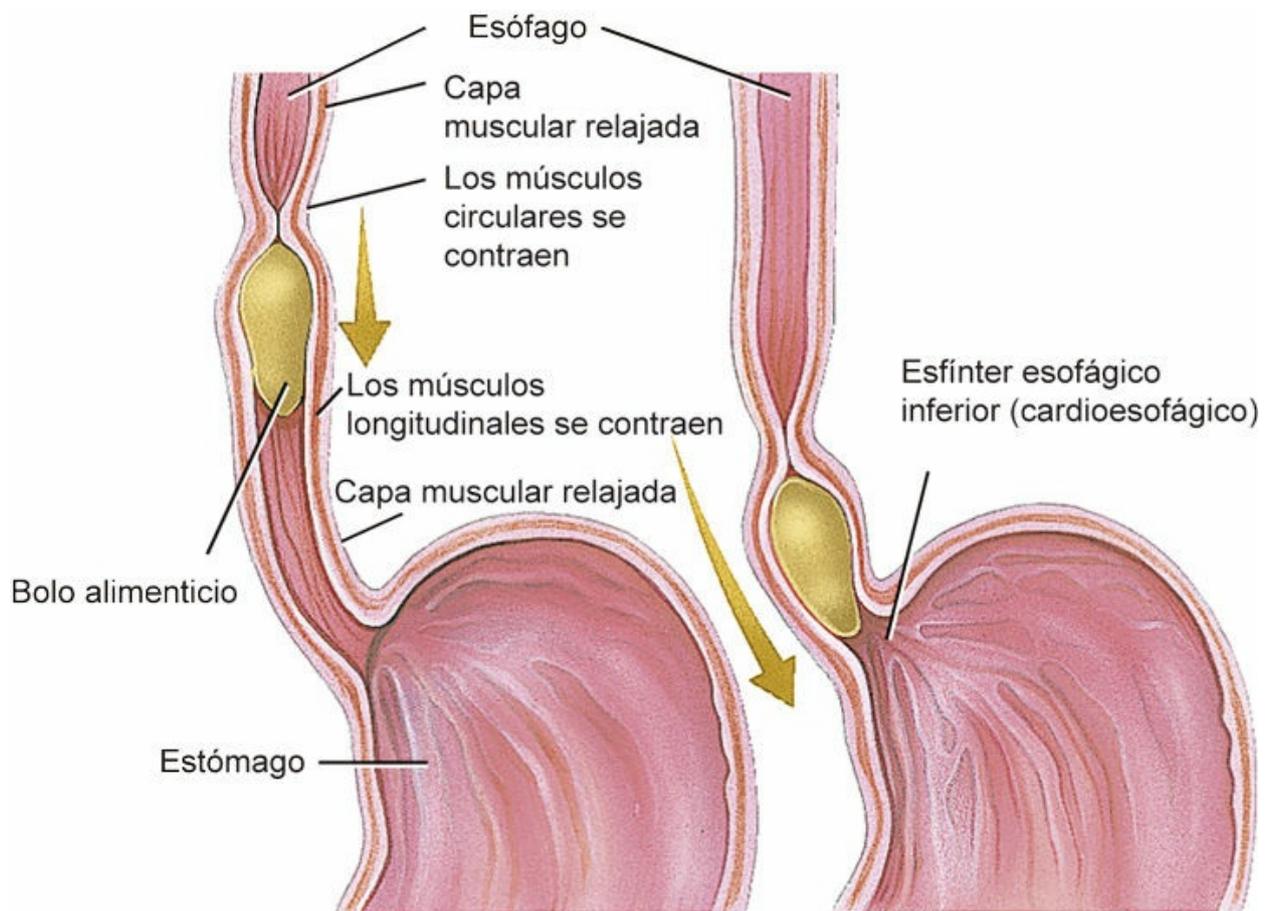


Figura 9-5. (a, b) Deglución. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Deglución

Una vez que el alimento ingerido se ha masticado de manera adecuada y ha formado un bolo, está listo para su deglución. La deglución ocurre en tres fases.

1. **Fase voluntaria:** durante esta fase la acción de los músculos voluntarios de la cavidad bucal lleva el bolo alimenticio a la bucofaringe. La lengua empuja contra el paladar, y esto impide que el alimento avance de nuevo.
2. **Fase faríngea:** aquí se inicia una acción refleja en respuesta a la sensación del bolo alimenticio en la bucofaringe. Este reflejo es coordinado por el centro de la deglución en el bulbo raquídeo, y la respuesta motora es la contracción de los músculos de la faringe. El paladar blando se eleva, cerrando la nasofaringe e impidiendo que el bolo alimenticio use esta vía. La laringe se eleva y avanza, permitiendo que la epiglotis cubra la entrada a la laringe, de modo que el bolo alimenticio no puede moverse hacia las vías respiratorias.
3. **Fase esofágica:** el bolo alimenticio pasa de la faringe al esófago. Ondas de contracciones del músculo esofágico desplazan el bolo alimenticio a lo largo del esófago y hasta el estómago. Esta onda de contracción muscular se conoce como **peristaltismo o peristalsis** (figura 9-6).



Vista anterior de cortes frontales del esófago durante el peristaltismo

Figura 9-6. Peristaltismo en el esófago. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Esófago

El bolo alimenticio sale de la bucofaringe y pasa al esófago. El esófago se extiende de la laringofaringe al estómago. Es una estructura de pared gruesa, que mide unos 25 cm de largo y se localiza en la cavidad torácica, posterior a la tráquea. La función del esófago es transportar sustancias (el bolo alimenticio) de la boca al estómago. La mucosa del esófago secreta moco espeso, que ayuda al paso del bolo alimenticio y también protege al esófago de la abrasión.

El esfínter esofágico superior regula el movimiento de sustancias hacia el esófago, y el esfínter esofágico inferior (también llamado esfínter cardioesofágico) regula el paso de sustancias del esófago al estómago. La capa muscular del esófago difiere de la del resto del tubo digestivo, ya que la porción superior consiste de músculo esquelético (voluntario) y la inferior de músculo liso (involuntario). La respiración y la deglución no pueden ocurrir al mismo tiempo (Nair y Peate, 2013).

Omeprazol

El omeprazol es un fármaco que se emplea para tratar varias afecciones del aparato digestivo, como la dispepsia, reflujo ácido, esofagitis y úlcera péptica. Pertenece al grupo de medicamentos llamados inhibidores de la bomba de protones (Galbraith et al., 2007). El ácido clorhídrico producido en el estómago puede escapar al esófago o el duodeno (del intestino delgado) e irritar el delicado epitelio de estas zonas. El omeprazol actúa en las células parietales del estómago inhibiendo la producción de ácido clorhídrico.

El omeprazol suele prescribirse en dosis de 20 a 40 mg una vez al día.

Entre sus efectos adversos comunes están:

- Vómito.
- Diarrea.
- Estreñimiento.
- Dolor estomacal.
- Cefaleas.
- Aumento de la flatulencia.
- Náusea.

El NICE (2014a) publica normas para la investigación y el manejo de la dispepsia.

Estructura del aparato digestivo

A todo lo largo del tubo digestivo, del estómago al ano, hay cuatro capas de tejido o tunicas (figura 9-7).

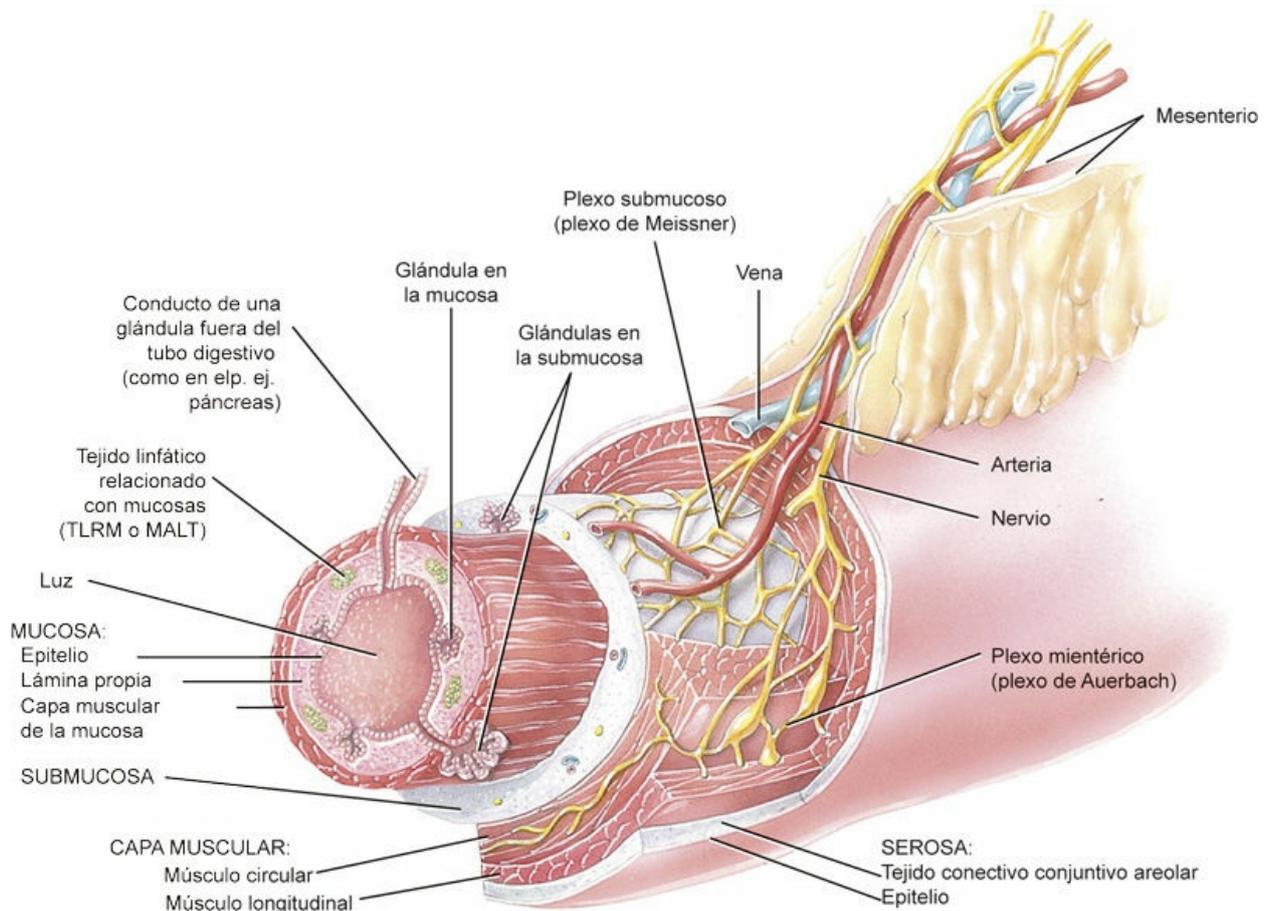


Figura 9-7. Estructura del tubo digestivo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La **mucosa** es la capa más interna. Los productos de la digestión están en contacto con esta capa al transitar por el tubo digestivo. La mucosa consiste en tres capas: El epitelio mucoso (membrana mucosa), que participa en la **secreción** de moco y otras secreciones del aparato digestivo como la saliva o el jugo gástrico. Esta capa ayuda a **proteger** al aparato digestivo contra el desgaste y desgarramiento continuos que debe soportar. En el intestino delgado esta capa interviene en la **absorción** de los productos de la digestión. La siguiente capa es la **lámina propia**, que consiste en tejido conjuntivo laxo que participa en el soporte de los vasos sanguíneos y el tejido linfático de la mucosa. La capa más externa se llama **mucosa muscular** y consiste en una delgada capa de músculo liso que ayuda a formar las criptas gástricas o las microvellosidades del aparato digestivo.

La **submucosa** es una capa gruesa de tejido conjuntivo. Contiene vasos sanguíneos y linfáticos y algunas glándulas pequeñas. También contiene el **plexo submucoso** (plexo de Meissner), nervios que estimulan a las glándulas

intestinales para que secreten sus productos.

La **capa muscular** consiste en una capa interna de músculo liso circular y una capa externa de músculo liso longitudinal. El estómago tiene tres capas de músculo liso, y la parte superior del esófago tiene músculo esquelético. Los vasos sanguíneos y linfáticos, y el **plexo mientérico** (plexo de Auerbach) (una red de nervios simpáticos y parasimpáticos) se localizan entre las dos capas de músculo liso. La contracción y relajación en ondas de esta capa muscular son las encargadas de mover el alimento a lo largo del tubo digestivo, un proceso conocido como **peristalsis** (figura 9-7). El peristaltismo ayuda a mezclar y digerir el alimento en forma mecánica.

La capa más externa del tubo digestivo es la **serosa (adventicia)**. La mayor extensión de serosa se encuentra en las cavidades abdominal y pélvica y se conoce como **peritoneo**. El peritoneo es un saco cerrado. El peritoneo visceral cubre los órganos de las cavidades abdominal y pélvica, y el peritoneo parietal reviste la pared abdominal. Hay una pequeña cantidad de líquido seroso entre las dos capas. El peritoneo tiene un riego sanguíneo apropiado, y contiene muchos ganglios y vasos linfáticos. Actúa como una barrera que protege las estructuras que contiene, y aísla zonas de infección para evitar daños a estructuras vecinas.

Estómago

El estómago se encuentra en la cavidad abdominal, entre el esófago arriba y el duodeno (del intestino delgado) abajo. Se divide en regiones (figura 9-8).

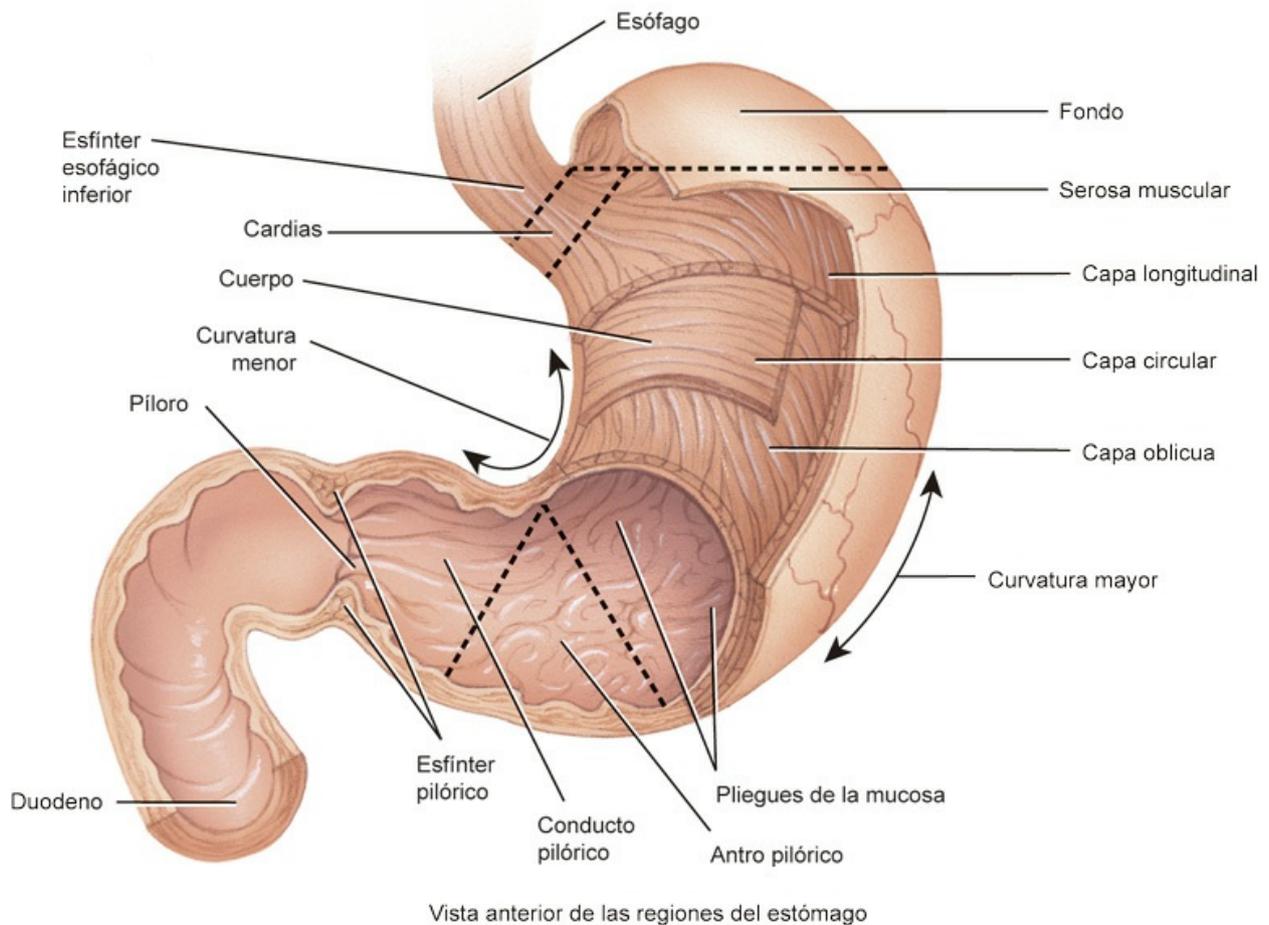


Figura 9-8. Estómago. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La entrada al estómago desde el esófago ocurre vía el esfínter esofágico inferior o esfínter cardioesofágico. De aquí se llega a una pequeña región del estómago llamada **cardias**. El **fondo** es la región en forma de domo en la parte superior del estómago. La **región del cuerpo** ocupa el espacio entre las curvaturas menor y mayor del estómago, y la **región pilórica** se estrecha hacia el **conducto pilórico**. El **esfínter pilórico** controla la salida del **quimo** desde el estómago hacia el intestino delgado. Quimo es el nombre dado al bolo alimenticio que sale del estómago.

El estómago es irrigado con sangre arterial de una rama de la arteria celiaca, y la sangre venosa sale del estómago en la vena hepática. El nervio neumogástrico (vago X par cranea) provee al estómago de fibras parasimpáticas que estimulan la motilidad gástrica y la secreción de jugo gástrico. Fibras simpáticas del plexo celiaco reducen la actividad gástrica.

El estómago tiene las mismas cuatro capas de tejido que el resto del tubo digestivo, pero con algunas diferencias. La capa muscular contiene tres capas de músculo liso en lugar de dos. Tiene fibras musculares longitudinales, circulares y oblicuas. La capa muscular extra facilita el batido y mezclado, y la digestión mecánica del alimento que ocurren en el estómago, además de apoyar el resto del viaje del alimento con su peristaltismo.

La mucosa del estómago también es diferente de la del resto del tubo digestivo. Cuando el estómago está vacío, los epitelios mucosos se disponen en largos **pliegues**, que se extienden cuando el estómago se llena. Un estómago muy lleno puede contener alrededor de 4 L, mientras que uno vacío contiene sólo unos 50 mL (Marieb y Hoehn, 2010). La forma y tamaño del estómago varían de una persona a otra y según la cantidad de alimento almacenada en él.

La mucosa también contiene muchas glándulas gástricas que secretan muchas sustancias diferentes (figura 9-9).

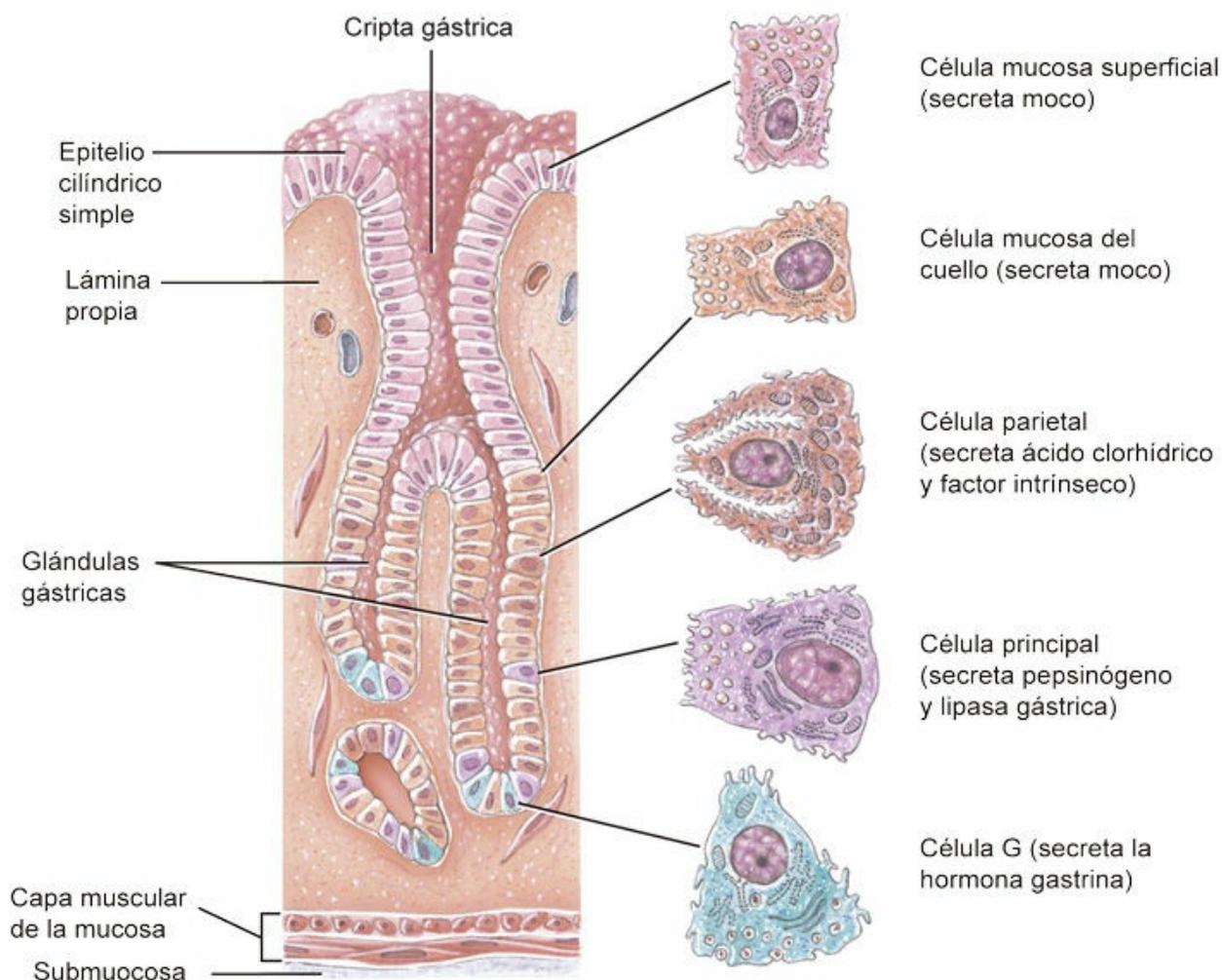


Figura 9-9. Glándulas y células gástricas. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- **Células mucosas superficiales:** producen moco espeso cubierto de bicarbonato. Esta capa densa de moco protege los epitelios mucosos del estómago contra la corrosión por el jugo gástrico, ácido. Cuando estas células se dañan se descaman y remplazan con rapidez.
- **Células mucosas del cuello:** también secretan moco, diferente del de las células superficiales.
- **Células parietales:** producen **ácido clorhídrico** y **factor intrínseco**. El factor intrínseco es necesario para la absorción de vitamina B₁₂, esencial para la

producción de eritrocitos maduros. El ácido clorhídrico crea el ambiente ácido del estómago (pH 1 a 3) y comienza la desnaturalización de la proteína de los alimentos como preparativo para la acción de la pepsina.

- **Células principales:** producen pepsinógeno, que es convertido en **pepsina** en presencia de ácido clorhídrico. La pepsina es necesaria para la degradación de las proteínas en cadenas peptídicas más pequeñas.
- **Células enteroendocrinas:** como las células G, producen diversas hormonas, incluida la **gastrina**. Estas hormonas ayudan a regular la motilidad gástrica.

A este brebaje de secreciones, más agua y sales minerales, se le llama jugo gástrico. Cada día se producen aproximadamente 2 L de jugo gástrico.

Instantánea

Prueba de hidrógeno en el aliento

Es una prueba que se basa en la medición de hidrógeno en el aliento para diagnosticar varias afecciones que provocan síntomas gastrointestinales. Se produce una cantidad limitada de hidrógeno a partir del escaso alimento no absorbido que llega al colon; es posible que se produzcan grandes cantidades de hidrógeno cuando hay algún problema con la digestión o absorción de alimento en el intestino delgado, lo cual permite que más alimento no absorbido llegue al colon.

La sangre con hidrógeno viaja a los pulmones, donde dicho gas se libera y exhala en el aliento, y puede medirse. La prueba de hidrógeno en el aliento se usa para el diagnóstico de tres afecciones. En la primera, los azúcares de los alimentos no se digieren de modo normal. El azúcar que más a menudo no se digiere de manera adecuada es la lactosa. El segundo trastorno es la proliferación excesiva de bacterias en el intestino delgado. El último es el paso rápido del alimento por el intestino delgado. Todas estas afecciones pueden causar dolor, timpanismo y distensión del abdomen, flatulencia y diarrea.

Antes de la prueba el paciente debe ayunar durante un mínimo de 12 h. Al principio de la prueba, llena un globo con su aliento. La concentración de hidrógeno se mide en una muestra de aliento tomada del globo. El paciente ingiere entonces una pequeña cantidad del azúcar de prueba (lactosa, sacarosa, sorbitol, fructosa, lactulosa, según el objetivo de la prueba). Se toman muestras adicionales de aliento y se analizan en busca de hidrógeno cada 15 min por 3 h y hasta por 5 h.

La interpretación de los resultados de la prueba de hidrógeno en el aliento depende del azúcar que se usa en la prueba, y el patrón de producción de hidrógeno después de ingerir el azúcar.

Después de la ingestión de una dosis de prueba de los azúcares alimenticios, cualquier producción de hidrógeno significa que ha habido un problema con la digestión o absorción del azúcar de prueba y que algo de éste ha llegado al colon.

El control de la secreción de jugo gástrico se divide en tres fases (figura 9-10).

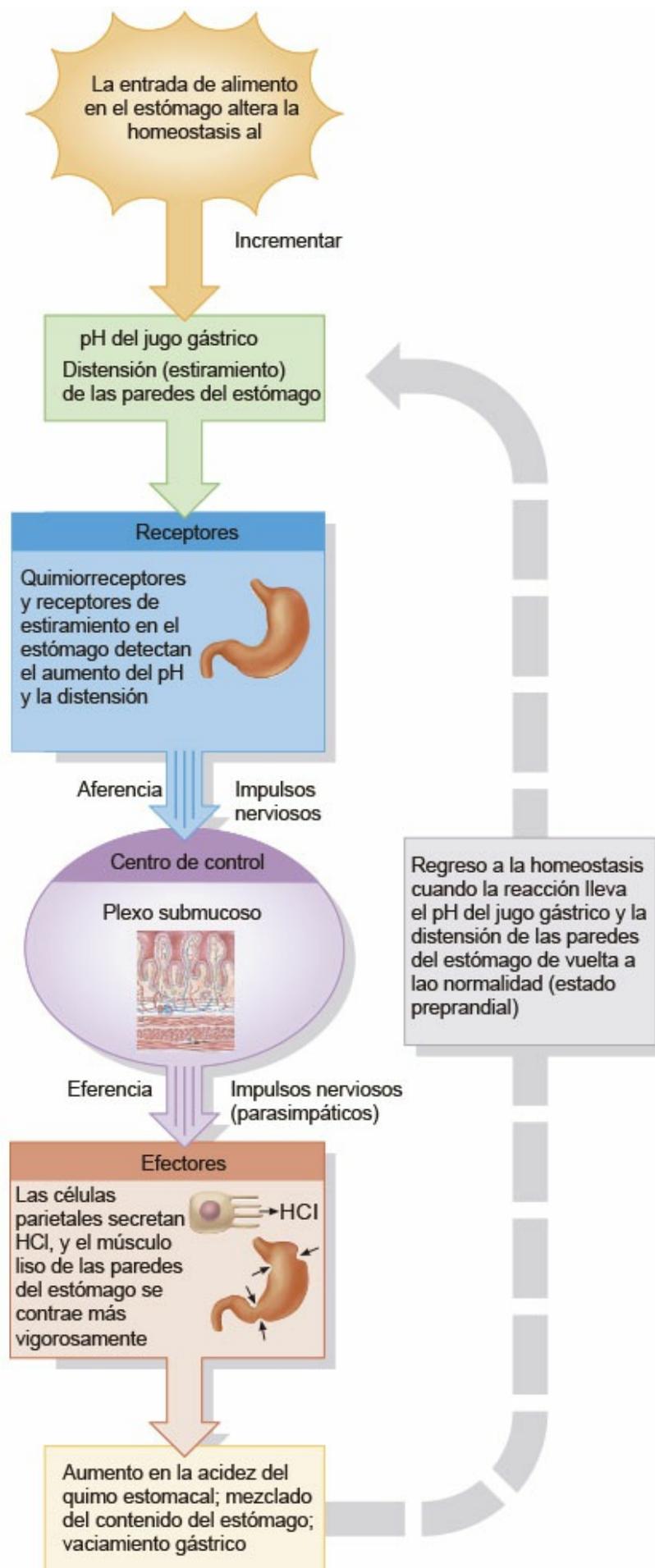


Figura 9-10. Fases de la secreción de jugo gástrico. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- 1. Fase cefálica:** la vista, sabor u olor del alimento estimulan la secreción de jugo gástrico.
- 2. Fase gástrica:** cuando el alimento entra en el estómago, la hormona gastrina se secreta en el torrente sanguíneo, y esto estimula la secreción de jugo gástrico. La secreción de ácido clorhídrico reduce el pH del contenido estomacal, y cuando el pH desciende a menos de 2 la secreción de gastrina se inhibe.
- 3. Fase intestinal:** cuando el contenido ácido del estómago entra en el duodeno (en el intestino delgado), se secretan las hormonas secretina y colecistocinina (CKK). Estas hormonas también tienen el efecto de reducir la secreción de jugo gástrico y la motilidad gástrica.

La rapidez del vaciamiento gástrico depende del tamaño y contenido de la comida. Una comida grande requiere más tiempo que una pequeña. Los líquidos pasan con rapidez por el estómago, mientras que los sólidos tardan más en mezclarse de manera uniforme con el jugo gástrico. La mayoría de las comidas habrán salido del estómago 4 h después de su ingestión.

Las funciones del estómago son:

- Depósito de alimento.
- Producción de moco para proteger el estómago.
- Digestión mecánica, por la acción de batido facilitada por una capa adicional de músculo liso.
- Mezclado del alimento con ácido clorhídrico para ayudar a destruir patógenos y desnaturalizar proteínas en preparación para la acción de la pepsina.
- Producción de quimo.
- Producción de factor intrínseco.

Administración de medicamentos

Ondansetrón

La náusea y el vómito son los síntomas más comunes del aparato digestivo. El vómito (emesis) ocurre cuando se activa el centro del vómito en el encéfalo. Puede activarse por irritación en el estómago. Esta irritación puede deberse a bacterias o, con frecuencia, a medicamentos. Algunos fármacos cruzan la barrera hematoencefálica y estimulan el centro del vómito. Cuando esto ocurre, los músculos abdominales y el diafragma se activan y ocurre peristaltismo inverso en el estómago, lo que induce la expulsión del contenido estomacal (Marieb, 2009).

Esta desagradable reacción puede tratarse con medicamentos como el ondansetrón. El ondansetrón pertenece a un grupo de fármacos llamados antieméticos. Actúa bloqueando la serotonina, que promueve el vómito.

La dosis habitual para adultos es de 8 mg cada 12 h, pero puede ajustarse según las necesidades. El ondansetrón se prescribe a menudo durante una quimioterapia, y la dosis

requerida puede incrementarse en caso necesario. Este fármaco también puede administrarse por vía intravenosa si el paciente tiene demasiadas náuseas para tolerar la medicación oral.

Los efectos adversos más comunes del ondansetrón son:

- Estreñimiento.
- Cefalea.
- Rubor.

Estos efectos suelen ser mínimos, y sólo se observan reacciones alérgicas cuando el fármaco se administra por vía intravenosa (Galbraith *et al.*, 2007).

Intestino delgado

El intestino delgado mide alrededor de 6 m de largo. En el intestino delgado el alimento es degradado aún más por digestión mecánica y química, y se realiza la absorción de los productos de la digestión. El intestino delgado se divide en tres partes (figura 9-11):

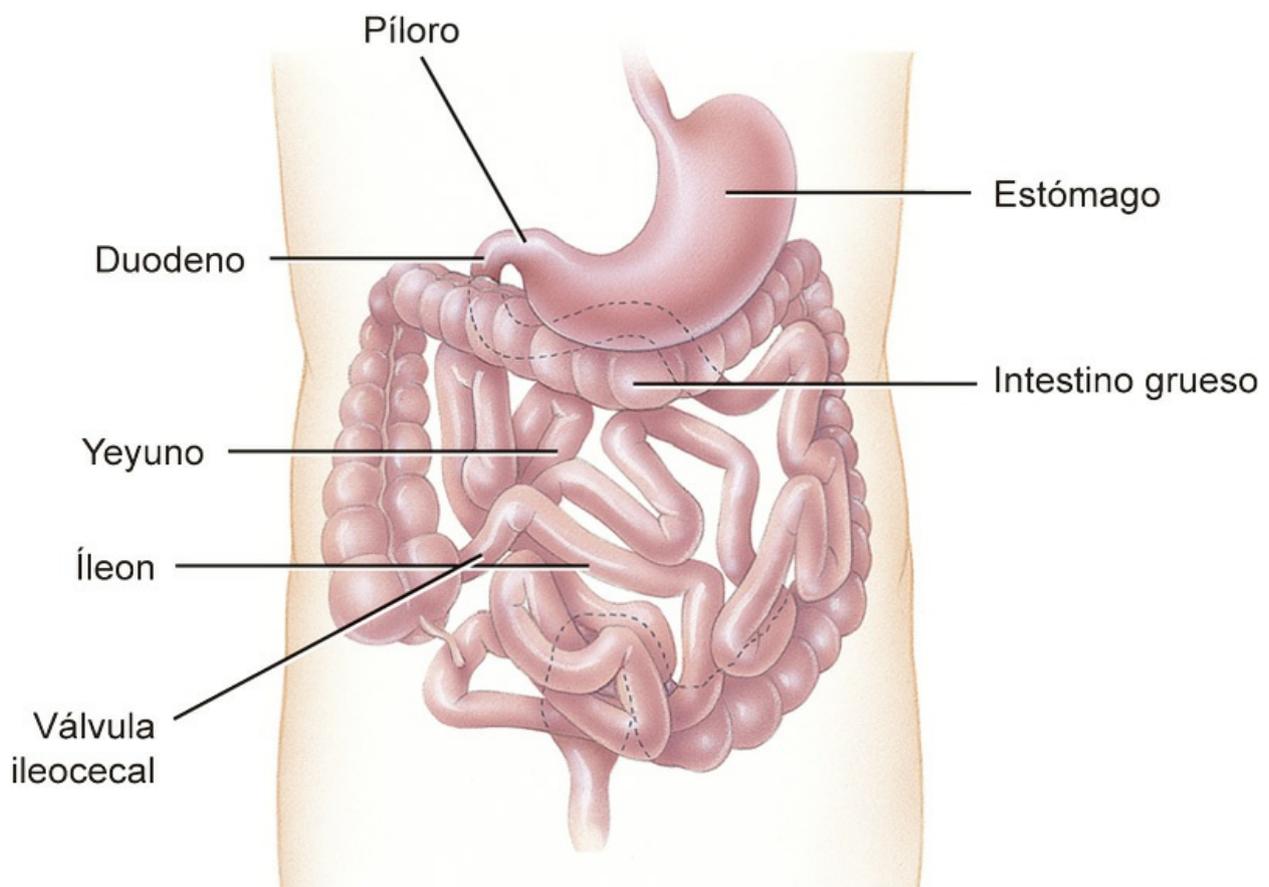


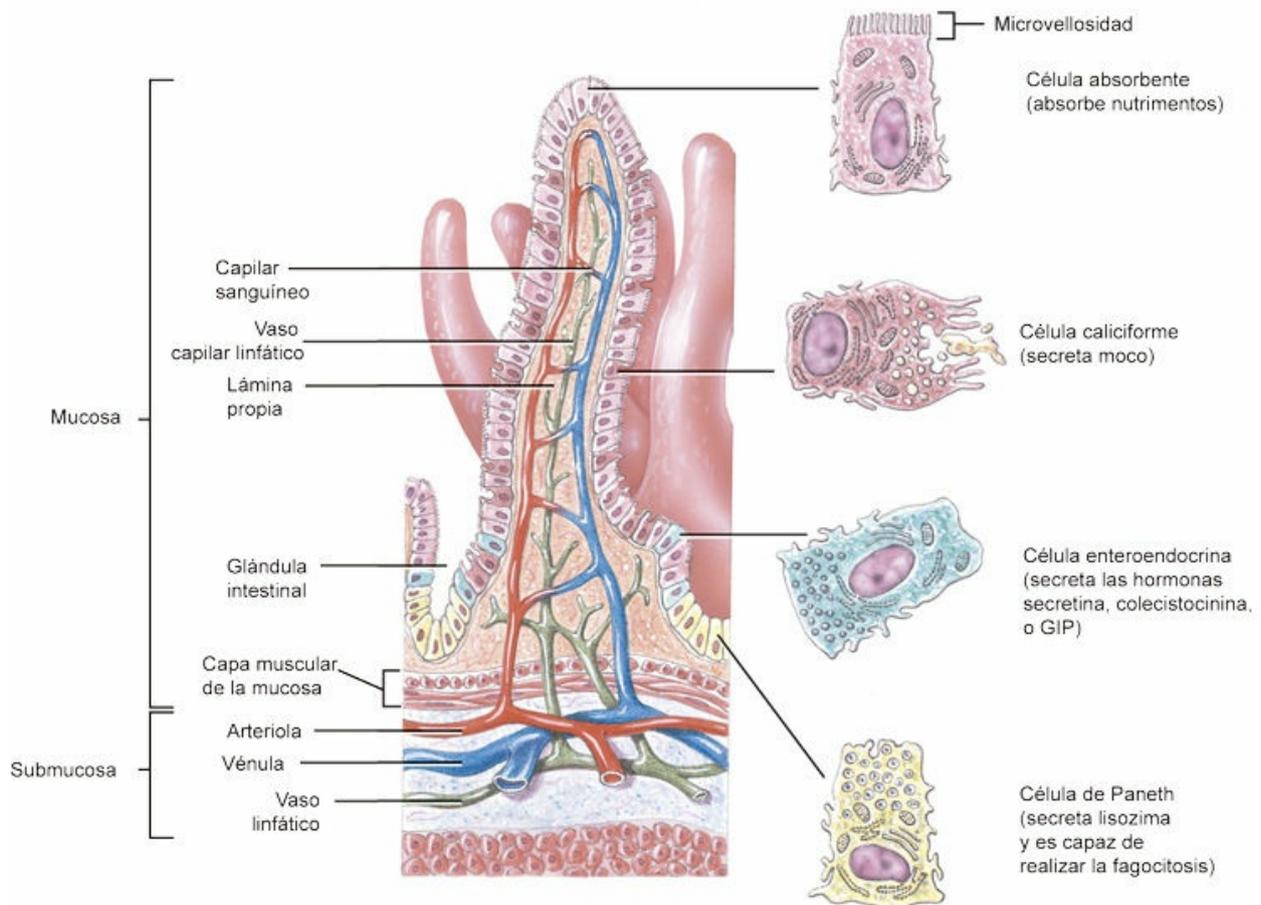
Figura 9-11. Intestino delgado. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

1. El **duodeno** mide unos 25 cm de largo. Es la entrada al intestino delgado.
2. El **yeyuno** mide 2.5 m y es la parte media del intestino delgado.
3. El **íleon** mide 3.5 m. Se encuentra con el intestino grueso en la **válvula**

ileocecal. Esta válvula impide el flujo retrógrado de los productos de la digestión desde el intestino grueso de vuelta al intestino delgado.

El intestino delgado es inervado por fibras parasimpáticas y simpáticas. Recibe su suministro de sangre arterial de la **arteria mesentérica superior**, y la sangre venosa, rica en nutrientes, drena en la **vena mesentérica superior** y después en la **vena porta** hacia el hígado.

Hay cuatro tipos de células presentes en la mucosa del intestino delgado (figura 9-12):



Vellosidad ampliada que muestra vaso quilífero, capilares, glándulas intestinales y tipos celulares

Figura 9-12. Células de las vellosidades del intestino delgado. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Las células absorbentes producen enzimas digestivas y absorben alimentos digeridos.
- Las células caliciformes secretan moco para proteger al intestino de la abrasión y del quimo ácido que entra en el intestino delgado.
- Las células enteroendocrinas producen hormonas reguladoras como la secretina y CKK. Estas hormonas se secretan en el torrente sanguíneo y actúan en sus órganos blanco para liberar jugo pancreático y bilis.
- Las células de Paneth producen lisozima, que protege al intestino delgado de patógenos que han sobrevivido a las condiciones ácidas del estómago. Las

placas de Peyer (tejido linfático del intestino delgado) también protegen al intestino delgado.

El alimento digerido en forma parcial entra en el intestino delgado y tarda 3 a 6 h en avanzar sus 6 m de longitud. La actividad del músculo liso dentro del intestino delgado continúa el proceso de la digestión mecánica. Ocurren dos tipos de digestión mecánica en el intestino delgado: *contracciones segmentarias*, que ayudan a mezclar las diversas enzimas en el intestino delgado con el contenido del quimo, y *peristaltismo*, que impulsa el alimento a lo largo del intestino delgado además de facilitar el mezclado.

La digestión química completa la degradación de los carbohidratos, grasas y proteínas. El jugo pancreático, la bilis de la vesícula biliar y el jugo intestinal contribuyen a ella.

Digestión química

Dentro del intestino delgado, cualquier carbohidrato que no haya sido degradado por la acción de la amilasa salival será degradado por la amilasa pancreática.

La bilis emulsifica ácidos grasos, lo cual hace más fácil que la lipasa (también del jugo pancreático) degrade las grasas a ácidos grasos y glicerol. Las proteínas son desnaturalizadas por el ácido clorhídrico en el estómago. En el intestino delgado son sometidas a la acción adicional de las enzimas tripsina, quimotripsina y carboxipeptidasa. El producto final de la digestión de proteínas consiste en tripeptidasas, dipeptidasas y aminoácidos.

El intestino delgado produce 1 a 2 L de jugo intestinal al día. Éste es secretado por las células de las **criptas de Lieberkühn** (localizadas entre las vellosidades) en respuesta ya sea a una irritación de la mucosa intestinal por el quimo, ácido, o a distensión por la presencia de quimo en el intestino delgado. El jugo intestinal es ligeramente alcalino (pH 7.4 a 8.4) y acuoso. El jugo intestinal y el pancreático se mezclan con el quimo, ácido, al entrar éste en el duodeno, y elevan el pH, con lo que impiden la acción corrosiva del quimo sobre la mucosa duodenal. El jugo intestinal también contiene moco (que ayuda a proteger la mucosa intestinal), sales minerales y enterocinasa.

La principal función del intestino delgado es absorber agua y nutrientes, y presenta varias adaptaciones anatómicas para facilitarlos:

- Pliegues circulares permanentes (llamados **pliegues circulares**) dentro de la mucosa y submucosa que desaceleran el movimiento de los productos de la digestión, dando tiempo para la absorción de nutrientes.
- En la superficie de la mucosa hay diminutas proyecciones digitiformes llamadas **vellosidades**. En el centro de cada vellosidad hay un lecho capilar y un **capilar linfático** (vaso quilífero). Esto permite la absorción de nutrientes en forma directa a la sangre o la linfa.
- En la superficie de las vellosidades hay extensiones citoplásmicas llamadas **microvellosidades**, cuya presencia aumenta en gran medida el área superficial

disponible para la absorción. El aspecto de las microvellosidades es como la superficie de un cepillo; de aquí que se les llame en conjunto **borde en cepillo**. El borde en cepillo produce algunas enzimas para degradar aún más los carbohidratos como la lactasa, maltasa, dextrinasa y sacarasa. También produce enzimas para degradar más las proteínas: aminopeptidasa, carboxipeptidasa y dipeptidasa.

La absorción de nutrimentos ocurre por difusión o transporte activo. Algunos nutrimentos se absorben en el capilar sanguíneo y otros en el capilar linfático (vaso quilífero).

Función del intestino delgado

- Producción de moco para proteger el duodeno contra los efectos del quimo, ácido.
- La secreción de jugo intestinal y jugo pancreático eleva el pH del quimo para facilitar la acción de las enzimas.
- La bilis entra en el intestino delgado para emulsificar las grasas, de modo que puedan ser degradadas más por la acción de la lipasa.
- Se secretan muchas enzimas para completar la digestión química de carbohidratos, proteínas y lípidos.
- La digestión mecánica se realiza por peristaltismo y segmentación, y se desacelera para permitir el mezclado correcto y la máxima absorción.
- El intestino delgado está diseñado con una extensa área superficial, para una máxima absorción de los productos de la digestión.
- El intestino delgado es el sitio en que se absorbe la mayor parte de los nutrimentos, electrolitos y agua.

Páncreas

El páncreas está formado por tejido exocrino y endocrino. Consiste en cabeza, cuerpo y cola (figura 9-13). Las células del páncreas se encargan de generar los productos endocrinos y exocrinos.

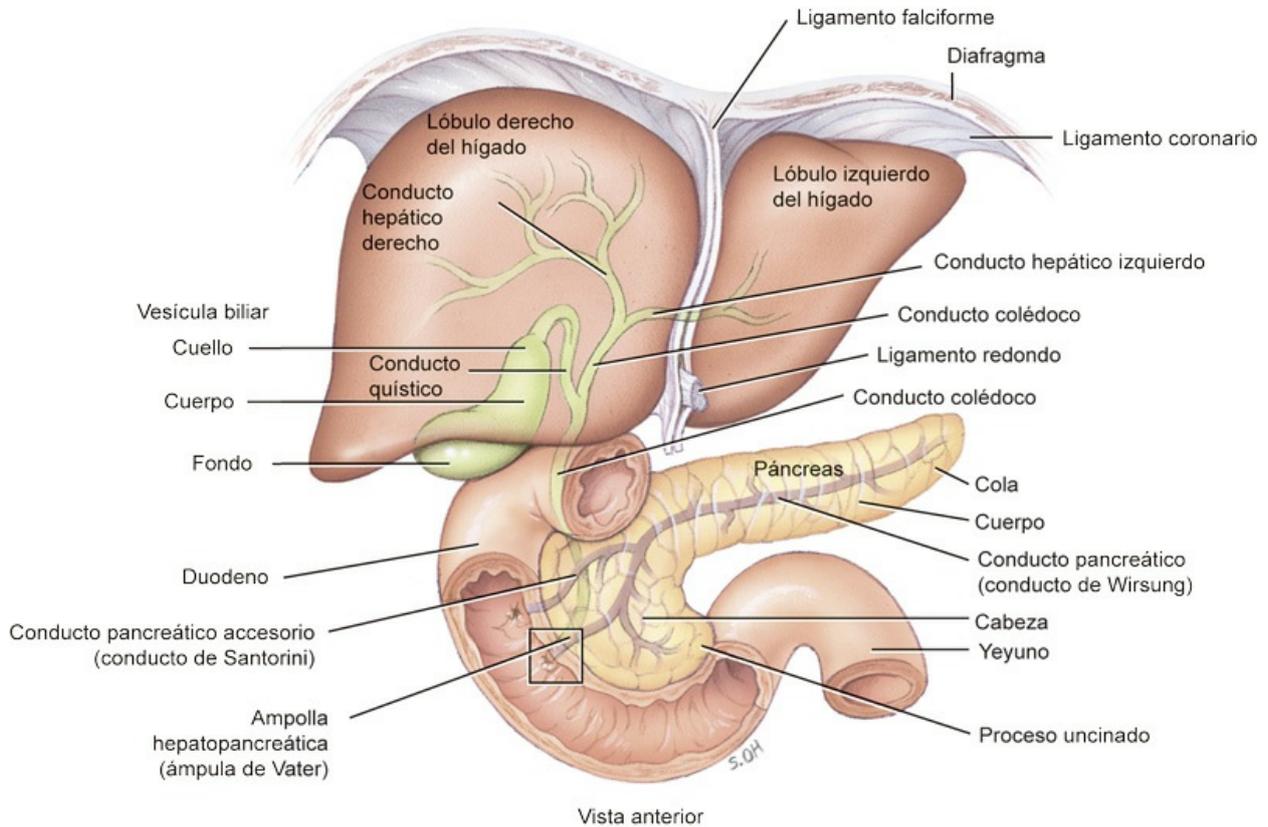


Figura 9-13. Hígado, vesícula biliar y páncreas. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Las células β y α de los **islotos de Langerhans** producen las hormonas endocrinas **insulina** y **glucagon**. Estas hormonas controlan el metabolismo de los carbohidratos.
- Las **glándulas acinares** del páncreas exocrino producen 1.2 a 1.5 L de **jugo pancreático** al día. El jugo pancreático viaja desde el páncreas a través del conducto pancreático hasta el duodeno en la ampolla hepatopancreática.
- Las células de los conductos pancreáticos secretan iones bicarbonato, que dan al jugo pancreático su pH elevado (pH 8). Esto ayuda a neutralizar el quimo, ácido, procedente del estómago, con lo que protege al intestino delgado de daño por la acidez. Además, las acciones de la amilasa y la lipasa son más eficaces a un pH más elevado (pH 6 a 8).

El jugo pancreático consiste de:

- Agua.
- Sales minerales.

- Amilasa pancreática, que completa la digestión de carbohidratos.
- Lipasa, usada en la digestión de grasas.
- **Tripsinógeno, quimotripsinógeno y procarboxipeptidasa**, que se liberan en forma inactiva para proteger las estructuras del aparato digestivo contra las enzimas que digieren proteína en que aquéllos se convierten; una vez que entran en el duodeno son activados por la enterocinasa del jugo intestinal y se transforman en tripsina, quimotripsina y carboxipeptidasa, respectivamente, que intervienen en la digestión de proteínas.

Dos hormonas regulan la secreción del jugo pancreático. La **secretina**, que se produce en respuesta a la presencia de ácido clorhídrico en el duodeno, promueve la secreción de iones bicarbonato. La **CKK**, secretada en respuesta a la ingestión de proteína y grasa, promueve la secreción de las enzimas presentes en el jugo pancreático. La estimulación de fibras parasimpáticas del nervio neumogástrico (“vago”) también promueve la liberación de jugo pancreático.

En resumen, la función exocrina del páncreas es secretar jugo pancreático en el duodeno. Las acciones del jugo pancreático llevan a la degradación adicional de carbohidratos, grasas y proteínas.

Administración de medicamentos

Pancreatina

La pancreatina es un fármaco que se prescribe a pacientes con fibrosis quística o insuficiencia pancreática. Contiene las siguientes enzimas:

- Amilasa: para degradar carbohidratos.
- Lipasa: para degradar grasas.
- Proteasa: para degradar proteínas.

La insuficiencia pancreática puede ocurrir en el caso de cáncer pancreático, cirugía de páncreas y pancreatitis aguda o crónica. En la fibrosis quística los conductos que transportan las enzimas pancreáticas se obstruyen debido a la mayor producción de moco en esta enfermedad.

La dosis requerida de pancreatina depende de la alimentación del paciente. Si los síntomas de heces no formadas y pérdida de peso persisten, la dosis puede aumentarse. Este fármaco suele tomarse de por vida. Tiene algunos efectos adversos, como

- Distensión abdominal.
- Náusea.
- Vómito.
- Diarrea.
- Estreñimiento.

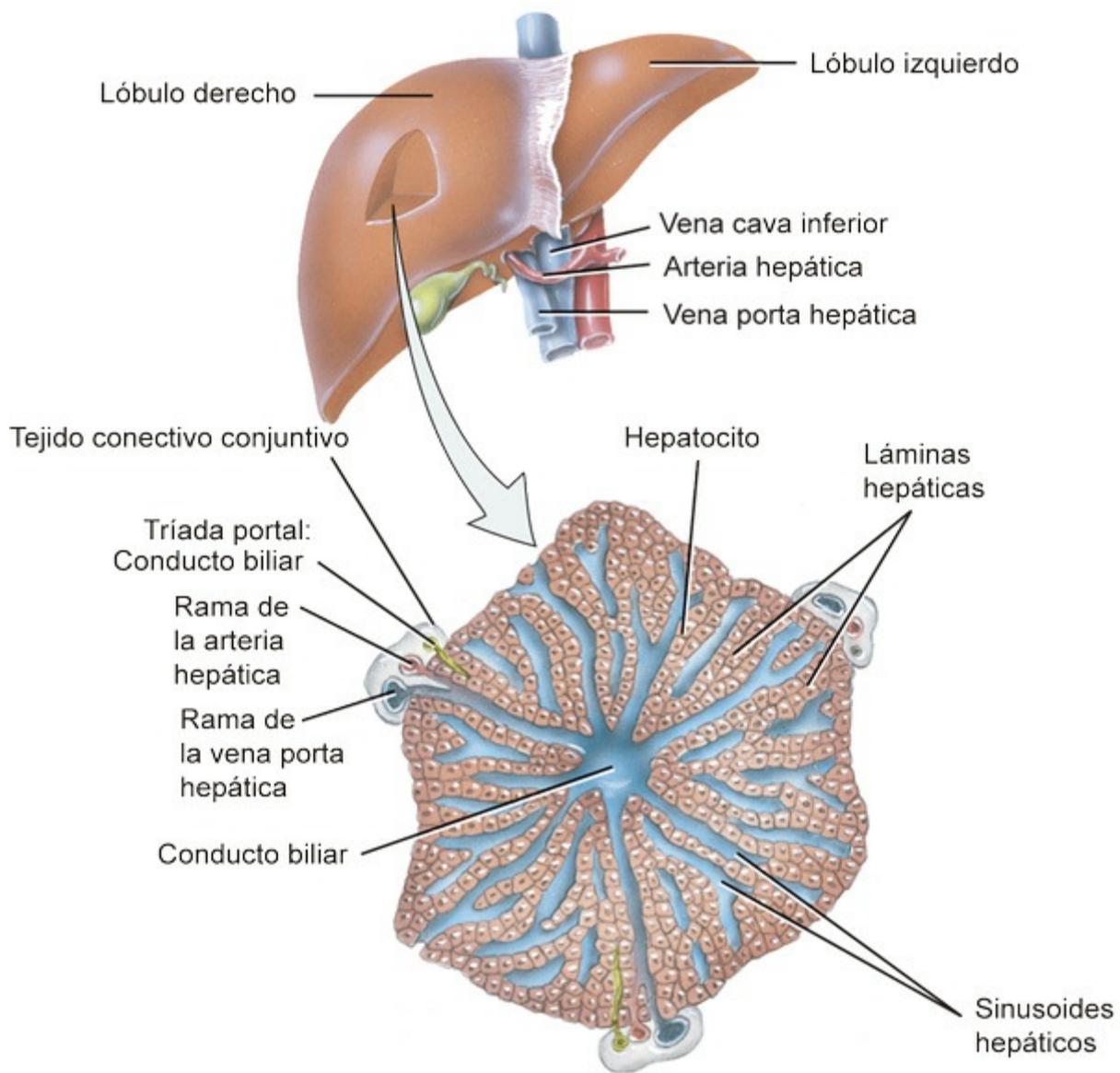
Las tabletas tienen capa entérica para protegerlas contra la desactivación en el estómago (Galbraith *et al.*, 2007).

NICE (2010) publica un *Clinical Knowledge Summary* sobre el manejo de la pancreatitis crónica.

Hígado y producción de bilis

El hígado es la glándula más grande del cuerpo. Pesa entre 1 y 2 kg. Se encuentra bajo el diafragma, protegido por las costillas. Ocupa la mayor parte de la región hipocondriaca derecha y se extiende a través de parte de la región epigástrica hasta la región hipocondriaca izquierda. El lóbulo derecho es el más grande de los cuatro lóbulos hepáticos. En la superficie posterior del hígado hay una entrada y salida del órgano llamada fisura portal, por la que entran y salen del hígado sangre, vasos linfáticos, nervios y conductos biliares.

El hígado está formado por diminutos lobulillos hexagonales que contienen a los hepatocitos (figura 9-14). Los hepatocitos son protegidos por macrófagos hepáticos (células de Kupffer). Las células de Kupffer manejan todas las partículas extrañas y glóbulos sanguíneos gastados.



Vista general de los componentes del hígado

Figura 9-14. Lóbulos del hígado. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).

Cada ángulo del lobulillo hexagonal tiene una tríada portal, formada por una rama de la arteria hepática, una rama de la vena porta y un conducto biliar. La arteria hepática suministra a los hepatocitos sangre arterial oxigenada, y la vena porta hepática, sangre desoxigenada rica en nutrientes proveniente del tubo digestivo. La función de los hepatocitos es filtrar, detoxificar y procesar los nutrientes que llegan del tubo digestivo. Los nutrientes pueden usarse para generar energía, almacenarse o utilizarse para producir nuevas moléculas. Los sinusoides hepáticos son capilares grandes con fugas, que drenan la sangre de la arteria hepática y la vena porta hepática en la vena central. Esta sangre procesada drena entonces en la vena hepática y la vena cava inferior.

Mientras la sangre fluye hacia el centro de la tríada para salir a la vena central, la bilis producida por el hepatocito como un subproducto metabólico se desplaza en el sentido opuesto hacia los canalículos biliares y los conductos biliares. La bilis sale entonces del hígado a través del conducto colédoco hacia el duodeno (en el intestino delgado).

El hígado produce y secreta cada día hasta 1 L de bilis alcalina, amarilla verdosa. La bilis esta compuesta de:

- Sales biliares como bilirrubina, de la degradación de hemoglobina.
- Colesterol.
- Hormonas liposolubles.
- Grasa.
- Sales biliares.
- Moco.

La función de la bilis es emulsificar las grasas, al proporcionar a las enzimas que las digieren (tripsina, quimotripsina y carboxipeptidasa) una mayor área superficial para trabajar.

La bilis se almacena y concentra en la vesícula biliar.

Funciones del hígado

Además de la producción de bilis y el metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas (que se exponen con más detalle en este capítulo), el hígado tiene muchas otras funciones:

- Detoxificación de fármacos: el hígado maneja medicamentos, alcohol, sustancias tóxicas ingeridas y las toxinas producidas por microorganismos.
- Reciclaje de eritrocitos.
- Desactivación de muchas hormonas, incluidas las hormonas sexuales, tiroxina, insulina, glucagon, cortisol y aldosterona.
- Producción de proteínas de la coagulación.
- Almacenamiento de vitaminas, minerales y glucógeno.
- Síntesis de vitamina A.

- Producción de calor.

Vesícula biliar

La vesícula biliar es un pequeño saco muscular verdoso situado posterior al hígado. Funciona como depósito de bilis. También concentra la bilis al absorber agua. La mucosa de la vesícula biliar tiene pliegues como los del estómago que le permiten estirarse a fin de dar cabida a volúmenes variables de bilis. Cuando las paredes de músculo liso de la vesícula biliar se contraen, la bilis es expulsada hacia el conducto cístico y por el conducto colédoco antes de entrar en el duodeno vía la ampolla hepatopancreática.

El estímulo para la contracción de la vesícula biliar es la hormona colecistoquinina. Esta hormona enteroendocrina, secretada por el intestino delgado en la sangre, se produce en respuesta a la presencia de quimo grasoso en el duodeno. La CKK estimula la secreción de jugo pancreático y la relajación del esfínter hepatopancreático. Cuando este esfínter está relajado, tanto la bilis como el jugo pancreático pueden entrar en el duodeno. En la figura 9-15 se resume la producción y liberación de bilis.

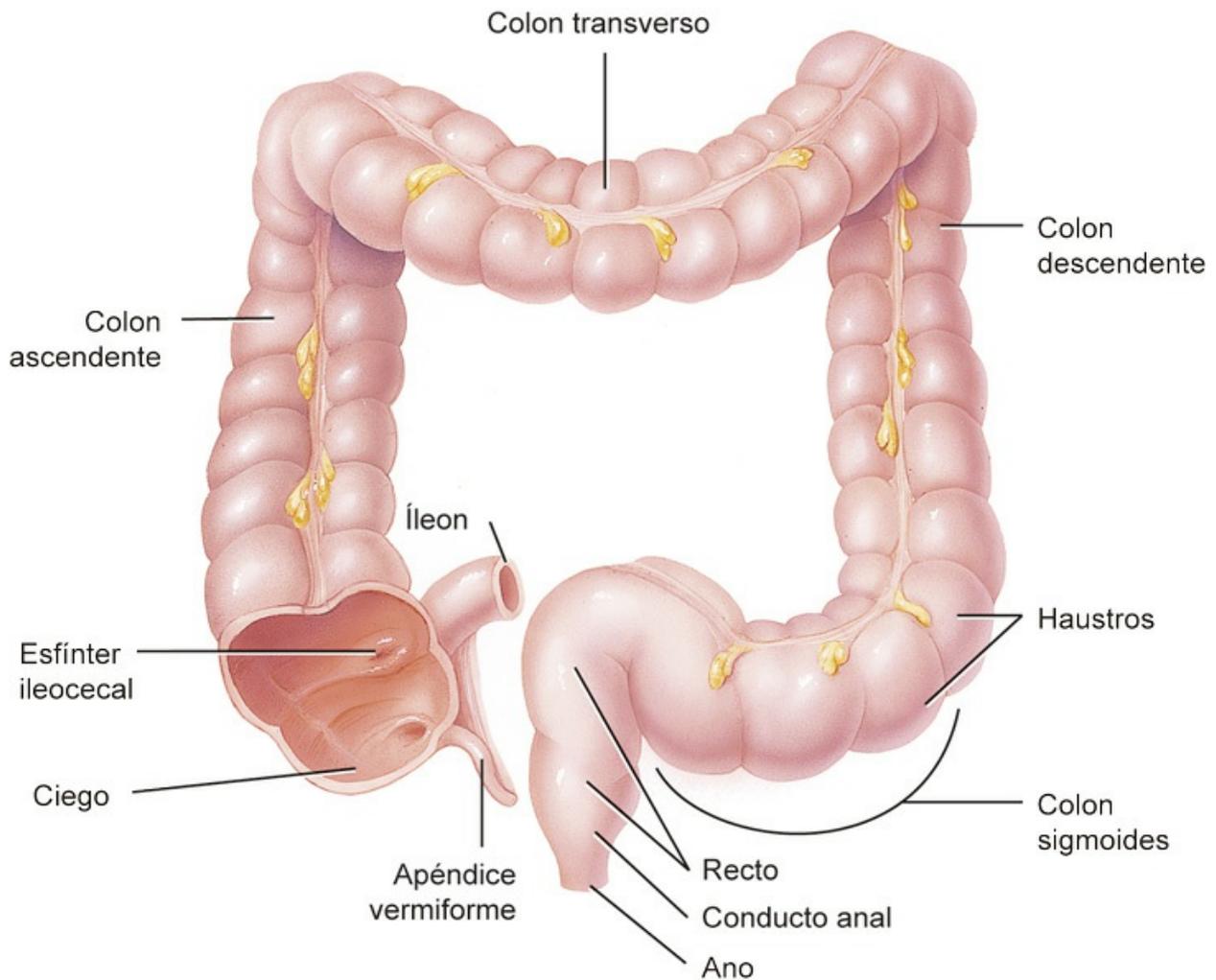


Figura 9-15. Intestino grueso. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Intestino grueso

El contenido del intestino delgado avanza lentamente por un proceso llamado segmentación. Éste da tiempo para completar la digestión y absorción. La entrada en el intestino grueso es controlada por el esfínter ileocecal, que se abre en respuesta al aumento en la actividad del estómago y la acción de la hormona gastrina. Una vez que el residuo del alimento ha llegado al intestino grueso no puede fluir de regreso al íleon (figura 9-15).

El intestino grueso mide 1.5 m de longitud y 7 cm de diámetro. Es continuo con el intestino delgado desde la válvula ileocecal y termina en el ano.

El residuo del alimento ingresa en el ciego y debe avanzar al colon ascendente, luego al colon transversal, pasar al colon descendente y salir del cuerpo por el recto, conducto anal y ano. El ciego es una abertura sacular descendente que da hacia el intestino grueso. El apéndice vermiforme es una estructura tubular estrecha que sale del ciego, pero está cerrada en su extremo distal. Consiste de tejido linfático y participa en la inmunidad. Dos músculos esfínter controlan la salida por el ano. El esfínter anal interno es de músculo liso y está bajo el control del sistema nervioso parasimpático, mientras que el esfínter anal externo está formado por músculo esquelético y está bajo control voluntario.

Consideraciones clínicas

Apendicitis

La estrecha luz del apéndice no da mucho espacio para la inflamación. Si es bloqueado por fecalitos (materia fecal dura) o se tuerce y acoda, el resultado es una inflamación, que puede ocasionar ulceración del recubrimiento mucoso. Esto se presenta al inicio como un dolor en el centro del abdomen que después se localiza en la región del apéndice. La apendicitis puede ceder, pero a menudo induce la formación de un absceso e incluso puede romperse.

La mucosa del intestino grueso contiene muchas células caliciformes que secretan moco para facilitar el paso de las heces y proteger las paredes del intestino grueso. El epitelio cilíndrico simple cambia a estratificado en el conducto anal. Los senos anales secretan moco en respuesta a la compresión fecal. Esto protege el conducto anal contra la abrasión relacionada con la defecación.

La capa muscular longitudinal del intestino grueso se forma en bandas llamadas tenias del colon. Éstas dan al intestino grueso su aspecto fruncido. Los sacos creados por este fruncimiento se denominan haustras.

El residuo del alimento que sale del íleon es líquido cuando entra en el ciego y contiene pocos nutrimentos. El intestino delgado se encarga de parte de la absorción de agua, pero la principal función del intestino grueso es absorber agua y convertir el residuo del alimento en heces semisólidas. El intestino grueso absorbe además algunas vitaminas, minerales, electrólitos y fármacos. El residuo del alimento suele tardar 24 a 48 h en pasar por el intestino grueso; 500

mL de residuo del alimento entran en él cada día, y salen como heces unos 150 mL.

Cuando las heces entran en el recto, el estiramiento de sus paredes inicia el **reflejo de la defecación**. El control voluntario del reflejo de la defecación se adquiere entre los 2 y 3 años de edad. El esfínter anal externo está bajo control voluntario, y si el momento y el lugar son apropiados, ocurre la defecación. La contracción de los músculos abdominales y el diafragma (maniobra de Valsalva) crea presión intraabdominal y ayuda en el proceso de la defecación. Si no es apropiado defecar, ello puede posponerse, ya que está bajo control voluntario. Después de unos pocos minutos la urgencia por ir al baño cede, y sólo volverá a sentirse cuando ocurra el siguiente movimiento de masa por el intestino grueso.

Las **heces** son un material semisólido pardo. Contienen fibra, estercobilina (de la degradación de la bilirrubina), agua, ácidos grasos, células epiteliales descamadas y microorganismos. La estercobilina da a las heces su color pardo. Un exceso de agua en las heces da por resultado **diarrea**. Esto ocurre cuando el residuo del alimento pasa con demasiada rapidez por el intestino grueso, de modo que no puede ocurrir la absorción de agua. A la inversa, ocurre **estreñimiento** si el residuo del alimento pasa demasiado tiempo en el intestino grueso.

Administración de medicamentos

Lactulosa

La lactulosa pertenece a un grupo de fármacos llamados laxantes, empleados para tratar el estreñimiento. Éste ocurre por falta de ingestión de líquido, deshidratación, falta de ejercicio o inmovilidad, durante el embarazo o por falta de fibra.

Las personas que sufren estreñimiento deben tratar de aumentar su movilidad y su consumo de líquido. Deben revisar su alimentación para incluir más fibra. También es posible que se les prescriba lactulosa.

La dosis habitual de lactulosa para el adulto es de 15 mL tres veces al día. La lactulosa actúa en el intestino grueso y puede tardar 48 h en tener algún efecto. También ayuda a aumentar el consumo de agua a 2 L.

La lactulosa es un laxante osmótico (Galbraith et al., 2007). Provoca un cambio en la presión osmótica del intestino, y por lo tanto éste dispone de más agua. Ello hace que las heces tengan un mayor contenido de agua, lo cual facilita su paso por el intestino.

Entre los efectos adversos de la lactulosa se incluyen:

- Náusea.
- Diarrea.
- Flatulencia.
- Malestar abdominal.

El NICE (2014b) publica un *Clinical Knowledge Summary* sobre el estreñimiento.

Hormonas del tubo digestivo

Muchas hormonas son responsables de la actividad del aparato digestivo. En el cuadro 9-1 se presenta un resumen de su participación.

Cuadro 9-1. Resumen de las funciones de las hormonas del aparato digestivo

| Hormona | Origen | Blanco | Acción | Estímulo |
|-----------------|----------|----------------------------|---|---------------------------------------|
| Gastrina | Estómago | Estómago | Aumenta la secreción de ácido clorhídrico por las glándulas gástricas Vaciamiento gástrico | Presencia de proteínas en el estómago |
| Secretina | Duodeno | Estómago | Inhibe la secreción de las glándulas gástricas Inhibe la motilidad gástrica | Quimo ácido y grasoso en el duodeno |
| | | Páncreas | Incrementa la secreción de jugo pancreático Promueve la acción de la colecistocinina | |
| | | Hígado | Aumenta la secreción de bilis | |
| Colecistocinina | Duodeno | Páncreas | Aumenta la secreción de jugo pancreático | Quimo en el duodeno |
| | | Vesícula biliar | Estimula la contracción | |
| | | Esfínter hepatopancreático | Relaja: abre la entrada al duodeno | |

Nutrición, digestión química y metabolismo

Hasta aquí, este capítulo se ha concentrado en el modo en que el tubo digestivo maneja el alimento ingerido a fin de degradarlo en sus partes constituyentes para su uso por las células del organismo. En esta sección se consideran la nutrición y el cometido de una alimentación balanceada en la salud.

Para estar sano es esencial un ingreso adecuado de nutrimentos. La nutrición también tiene una función importante para el bienestar social y psicológico. Si se maneja de manera inapropiada, la nutrición puede ocasionar muchos problemas físicos y psicológicos. Por lo tanto, es importante conocer la función de los nutrimentos en el organismo a fin de entender cómo la falta o exceso de cada uno de ellos incidirá en la salud.

En el resto de este capítulo se identifican los macronutrimentos y micronutrimentos, y los grupos de alimentos que constituyen las fuentes de ellos. Se examina en qué se degradan los nutrimentos, y cómo utiliza el organismo esas partes constituyentes.

Nutrimentos

Un nutrimento es una sustancia que se ingiere y que el aparato digestivo procesa. Es digerido y absorbido, y puede ser usado por el organismo para producir energía o convertirse en un bloque de construcción para una nueva molécula o participar en reacciones químicas esenciales. Los nutrimentos se requieren para el crecimiento del organismo, reparación, y mantenimiento del funcionamiento celular. No todo el alimento ingerido puede considerarse como nutrimento. Algunas fibras vegetales no digeribles no son nutrimentos, pero se requieren para el funcionamiento saludable del aparato digestivo.

Alimentación equilibrada

El cuerpo tiene la capacidad de degradar algunos nutrimentos a fin de crear nuevas moléculas, pero esta capacidad es finita, y hay un grupo de nutrimentos esenciales que el cuerpo no puede producir, sino que deben ingerirse con los alimentos para mantener la homeostasis. Por lo tanto, una alimentación balanceada es esencial para la salud (*Department of Health*, 2003). Las raciones diarias recomendadas de grupos de alimentos requeridos para una alimentación equilibrada se muestran en la pirámide alimenticia (figura 9-16). La falta de una alimentación adecuada puede ocasionar malnutrición o desnutrición, y el exceso puede causar sobrepeso u obesidad.

Instantánea

Cirugía bariátrica

La cirugía bariátrica se usa como último recurso para tratar a personas con obesidad mórbida. Consiste en reducir el ingreso o la absorción de calorías, y se realiza en pacientes con obesidad mórbida si otros tratamientos (p. ej., cambios en el estilo de vida) no han funcionado. Entre las indicaciones se incluyen:

- Índice de masa corporal (IMC) de más de 40.
- IMC de 35 o más y otro problema de salud grave que pudiera mejorar si el paciente pierde peso (p. ej., diabetes tipo 2 o hipertensión).
- Fracaso previo de otros métodos no quirúrgicos para mantener la pérdida de peso por un mínimo de seis meses.
- Compromiso de la persona con el seguimiento a largo plazo.

La cirugía de pérdida de peso puede permitir una pérdida significativa y rápida de grasa corporal excesiva en aquellos que cumplen los criterios. La cirugía bariátrica debe realizarse en un centro especializado, con seguimiento a largo plazo de los pacientes. En muchos países se dispone de lineamientos nacionales sobre la cirugía bariátrica. Entre las contraindicaciones se incluyen sujetos no aptos para la cirugía y dependencia descontrolada de alcohol u otras drogas.

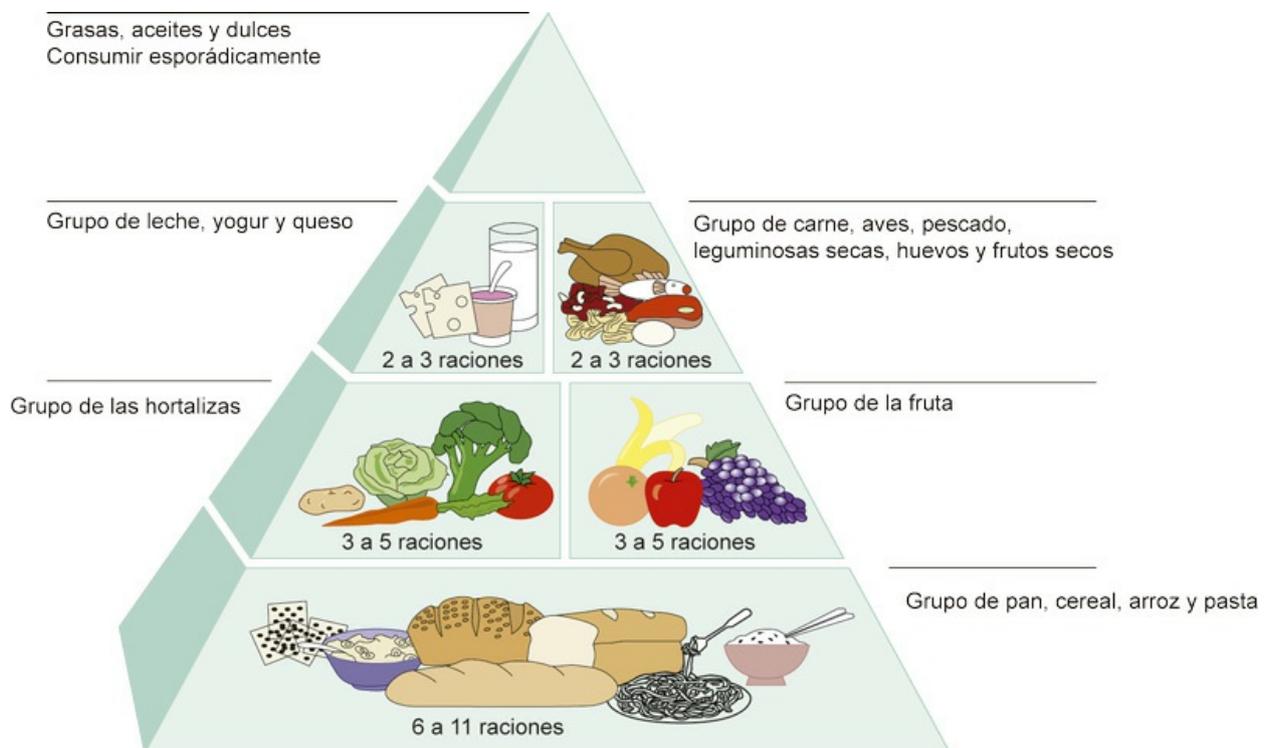


Figura 9-16. Pirámide alimenticia. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los nutrientes comienzan como moléculas de alimento grandes. Ingresan en el tubo digestivo y son degradados a moléculas más pequeñas. Este proceso se denomina catabolismo. Las enzimas digestivas facilitan la degradación de los alimentos mediante un proceso llamado hidrólisis. La hidrólisis es la adición de agua para romper los enlaces químicos de las moléculas de alimento. Cada uno de los tres diferentes tipos de alimento es degradado (lisado) por diferentes enzimas.

Grupos de nutrientes

Carbohidratos, proteínas y lípidos son los llamados nutrimentos mayores o macronutrimentos. Se les requiere en cantidades más bien grandes, mientras que las vitaminas y minerales son necesarias en cantidades mucho más pequeñas, aunque son también vitales para el mantenimiento de la salud; a estas últimas se les conoce como micronutrimentos. Hay por lo tanto seis clases de nutrimentos:

- Agua.
- Carbohidratos.
- Proteínas.
- Lípidos (grasas).
- Vitaminas.
- Minerales.

Agua

El agua es esencial para muchas funciones del aparato digestivo. Es necesaria para producir los distintos jugos del aparato digestivo. Cuando las enzimas actúan en las moléculas de alimento ingeridas, les agregan agua, en el proceso de la hidrólisis (Cohen y Hull, 2015).

Carbohidratos

Monosacáridos, disacáridos y polisacáridos son carbohidratos. La fuente alimentaria de carbohidratos son las plantas. Sin embargo, el azúcar de la leche (lactosa) es una forma de carbohidrato presente en la leche de vaca y la materna. Los carbohidratos se encuentran en muchos alimentos, como el pan, pasta, cereal, pastelillos, hortalizas y fruta.

Los carbohidratos consisten en carbono, hidrógeno y oxígeno. Pueden ser complejos, como los polisacáridos almidón y glucógeno, o simples, como los disacáridos sacarosa (azúcar de mesa) y lactosa (azúcar de la leche) y los monosacáridos glucosa, fructosa y galactosa.

La digestión de los carbohidratos proporciona al organismo fructosa, galactosa y glucosa. El hígado convierte fructosa y galactosa en glucosa, ya que la glucosa es la molécula usada por las células del cuerpo.

Los carbohidratos digeridos se absorben en la sangre a través de las vellosidades del intestino delgado. Entran en la circulación portal hepática y se transportan al hígado para su procesamiento. El hígado es un órgano altamente metabólico que requiere un abundante suministro de glucosa para efectuar su actividad metabólica.

La glucosa es utilizada por las células para producir trifosfato de adenosina (ATP). Glucosa más oxígeno se transforman en ATP, dióxido de carbono y agua. El proceso de degradar glucosa se denomina glucólisis.

Una ingestión insuficiente de carbohidratos lleva a la incapacidad de satisfacer las necesidades de energía de las células. Si esto ocurre, el cuerpo degrada

aminoácidos y lípidos para crear nueva glucosa, un proceso llamado gluconeogénesis.

El exceso de glucosa es convertido en glucógeno y almacenado en el hígado. También puede convertirse en grasa y almacenarse.

Grasas

Son fuentes alimentarias de grasa la mantequilla, huevos, queso, leche, pescados grasos y la parte más grasosa de la carne. Estos alimentos contienen grasa saturada, sobre todo ácidos grasos saturados y glicerol. Los aceites vegetales y la margarina son fuentes de grasas insaturadas. Asimismo, el cuerpo puede crear grasa a partir de un consumo excesivo de carbohidratos y proteína.

La grasa también contiene carbono, hidrógeno y oxígeno, pero en una combinación diferente a la de los carbohidratos.

Cuando la grasa entra en el intestino delgado se mezcla con la bilis, que la emulsifica. La acción de la lipasa pancreática completa la digestión de la grasa, que se degrada a monoglicéridos, glicerol y ácidos grasos. Los monoglicéridos y algunos de los ácidos grasos entran en los vasos quilíferos de las vellosidades y son transportados por la linfa al conducto torácico y a la circulación, hasta que llegan al hígado. El glicerol y los ácidos grasos restantes son absorbidos de manera más directa en la sangre capilar y llegan al hígado vía la vena porta hepática.

El hígado utiliza parte de los ácidos grasos y el glicerol para generar energía y calor. De hecho, los hepatocitos y el músculo esquelético usan triglicéridos como su principal fuente de energía. También es posible que el exceso de triglicéridos se almacene como tejido adiposo, el cual a su vez puede usarse como fuente de energía cuando las células corporales no disponen de glucosa.

Las grasas hacen que el alimento parezca más suave e inducen una sensación de satisfacción con la comida. Son necesarias para la absorción de las vitaminas liposolubles. El tejido adiposo protege, acolcha y aísla órganos vitales. Los fosfolípidos son necesarios para formar la vaina de mielina y las membranas celulares (bicapa de fosfolípidos). El colesterol se obtiene de la yema del huevo y los productos lácteos, pero también se sintetiza en el organismo para formar hormonas esteroideas y sales biliares.

El exceso de grasa en la alimentación puede causar sobrepeso u obesidad y enfermedad cardiovascular. Sin embargo, su ausencia en los alimentos puede llevar a una pérdida de peso, retraso del crecimiento y lesiones cutáneas.

Proteínas

Son fuentes alimentarias de proteínas la carne, huevos y leche. Los frijoles y los chícharos (y leguminosas en general), frutos secos (nueces, almendras y afines), cereales y hortalizas de hoja verde también son fuentes de aminoácidos.

La digestión de las proteínas inicia en el estómago y se completa en el

intestino delgado. Las proteínas se degradan (desdoblan) en aminoácidos. Son absorbidas por las vellosidades del intestino delgado, de donde pasan a los capilares y de ahí a la circulación portal hepática y al hígado o a la circulación general.

El organismo utiliza las proteínas con varios fines, por ejemplo para formar músculo, colágeno y elastina, necesarios para la estructura corporal y la reparación de tejidos. Las hormonas insulina y somatotropina tienen esta finalidad. Los aminoácidos también se emplean para generar hormonas y enzimas. Todos los aminoácidos requeridos en la estructura de una proteína deben estar disponibles dentro de la célula para que esa proteína pueda producirse. Ésta es la ley del todo o nada. La proteína también puede usarse como fuente de energía para el organismo. En su mayoría, los aminoácidos se degradan en el hígado, donde la parte nitrogenada se elimina y convierte primero en amoníaco y luego en urea. La urea se excreta como producto de desecho en la orina. El resto del aminoácido se usa para producir energía. La proteína no puede ser almacenada por el organismo. Cualquier exceso de aminoácidos se convierte en carbohidrato o grasa para almacenarse como tejido adiposo.

El exceso de proteínas en la alimentación ocasiona obesidad. La falta de proteínas provoca consunción de músculo/tejidos y pérdida de peso. La falta de proteínas plasmáticas puede causar edema.

Vitaminas

Las vitaminas son moléculas orgánicas que se requieren en cantidades pequeñas para un metabolismo saludable. Las vitaminas esenciales no pueden ser producidas por el organismo, y deben suministrarse en los alimentos, lo que destaca una vez más la importancia de una alimentación equilibrada. Sin embargo, algunas vitaminas sí son producidas por el cuerpo. La vitamina K es sintetizada por las bacterias del intestino; la piel produce vitamina D; y la vitamina A se forma a partir de β -caroteno, que se encuentra por ejemplo en las zanahorias.

Muchas vitaminas actúan como *coenzimas* (Seeley *et al.*, 2008). Estas vitaminas se combinan con enzimas para hacerlas funcionales. Por ejemplo, la síntesis de proteínas de la coagulación requiere la presencia de vitamina K.

Durante el metabolismo ocurre una reacción en la que interviene oxígeno. Como parte de este proceso se forman radicales libres, que pueden ser dañinos. Las vitaminas A, C y E son antioxidantes que neutralizan radicales libres y protegen a los tejidos de sus efectos peligrosos.

Las vitaminas son liposolubles o hidrosolubles. Las vitaminas liposolubles se combinan con lípidos de los alimentos y se absorben de este modo. Además de la vitamina K, las vitaminas liposolubles pueden almacenarse en el organismo; por lo tanto, puede haber problemas relacionados con su toxicidad cuando estas vitaminas se acumulan en demasía.

Las vitaminas hidrosolubles se absorben con el agua en el tubo digestivo. No pueden almacenarse, y cualquier exceso que se ingiera se excreta en la orina. En

el cuadro 9-2 se presenta un resumen de las vitaminas y sus funciones.

Cuadro 9-2. Resumen de las vitaminas

| Vitamina | Fuente | Función | Deficiencia |
|--|---|---|---|
| Liposolubles | | | |
| A, retinol | Sintetizada a partir de β -caroteno. Yema de huevo, crema, aceite de pescado, queso, hígado | Integridad de piel, mucosas; desarrollo de huesos y dientes durante el crecimiento; síntesis del pigmento fotorreceptor en la retina, reproducción normal, antioxidante | Ceguera nocturna, sequedad de piel y cabello, pérdida de la integridad cutánea, infecciones frecuentes, en particular respiratorias, gastrointestinales y urinarias |
| D, calciferol | Producida por la piel. Queso, huevo, aceite de pescado, hígado | Regula el metabolismo del calcio y el fosfato | Raquitismo en niños, osteomalacia en adultos |
| E, tocoferol | Yema de huevo, germen de trigo, cereales enteros, leche, mantequilla | Antioxidante | En deficiencia grave, ataxia y trastornos visuales, decremento del lapso de vida de los eritrocitos |
| Filoquinona | Sintetizada por bacterias en el intestino grueso. Hígado, pescado, fruta y hortalizas de hoja verde | Formación de proteínas de la coagulación en el hígado | Tiempos de coagulación prolongados, equimosis, sangrado |
| Hidrosolubles | | | |
| B ₁ , tiamina | Yema de huevo, hígado, frutos secos, carne, leguminosas, germen de cereales | Coenzima necesaria para el metabolismo de los carbohidratos | Beriberi: emaciación muscular, retardo del crecimiento, polineuritis e infección. Trastornos visuales, confusión, inestabilidad, pérdida de la memoria, fatiga, taquicardia, crecimiento cardíaco |
| B ₂ , riboflavina | Leche, hortalizas verdes, levadura, queso, huevo de pescado, hígado | Coenzima necesaria para el metabolismo de carbohidratos y proteínas | Agrietamiento de la piel, en especial alrededor de las comisuras de la boca, visión borrosa, úlceras corneales, lesiones de la mucosa intestinal |
| B ₉ , ácido fólico | Hígado, riñones, levadura, hortalizas de hoja amplia, huevos, granos enteros | Coenzima esencial para la síntesis de DNA, formación de eritrocitos | Anemia, espina bífida en neonatos, mayor riesgo de ataque cardíaco y accidente cerebrovascular |
| B ₃ , niacina, ácido nicotínico | Hígado, queso, levadura, huevos, cereales, frutos secos, pescado | Coenzima implicada en la glucólisis, degradación de grasas: ayuda a la degradación del colesterol e inhibe su producción | Pelagra: enrojecimiento cutáneo con la luz, anorexia, náusea y disfagia, delirio y demencia |
| B ₆ , piridoxina | Carne, hígado, pescado, granos, plátano, levadura | Coenzima implicada en el metabolismo de los aminoácidos | Mayor riesgo de cardiopatía, lesiones oculares y bucales. En niños, irritabilidad nerviosa, convulsiones, dolor abdominal y vómito |
| B ₁₂ , cianocobalamina | Carne, pescado, hígado, huevo, leche | Coenzima en todas las células, implicada en la síntesis de DNA. Formación y mantenimiento de la mielina alrededor de los nervios | Anemia perniciosa, neuropatía periférica |
| B ₅ , ácido pantoténico | Carne, granos, leguminosas, levadura, yema de huevo | Coenzima relacionada con el metabolismo de los aminoácidos y la formación de esteroides | Síntomas inespecíficos |

| | | | |
|--------------------|--|--|---|
| Biotina | Yema de huevo, hígado, leguminosas, tomate | Coenzima en el metabolismo de los carbohidratos | Palidez, anorexia, náusea, fatiga |
| C, ácido ascórbico | Frutas, en particular las cítricas, hortalizas | Antioxidante, favorece la absorción y el uso del hierro, maduración de los eritrocitos | Cicatrización deficiente de heridas, dolor articular, anemia, escorbuto |

Minerales

El organismo requiere, para muchos fines, pequeñas cantidades de compuestos inorgánicos llamados minerales. Por ejemplo, el calcio da estructura y resistencia a los tejidos, y el sodio forma iones esenciales para mantener la presión osmótica. Además, constituyen alrededor del 5% del peso corporal (Nair and Peate, 2013).

Hay minerales que se requieren en cantidades moderadas, como el calcio y el magnesio, y muchos otros que son necesarios en cantidades muy pequeñas, los cuales son llamados oligoelementos, como el cobalto y el cobre. En el cuadro 9-3 se resumen algunos de los minerales y su función.

Consideraciones clínicas

Obesidad

La obesidad va en aumento en los países industrializados y en desarrollo. Ocurre cuando se consumen más kilocalorías de las que el cuerpo utiliza. Falta de actividad física, modo de vida sedentario y consumo excesivo de alimentos son factores que contribuyen al aumento de peso. La obesidad tiene consecuencias graves para la salud, ya que predispone a las personas a la indigestión, cálculos biliares, hernias, enfermedad cardiovascular, varices, artrosis y diabetes mellitus tipo 2.

Cuadro 9-3. Resumen de los minerales

| Mineral | Fuente | Función | Deficiencia(D)/exceso(E) |
|----------|--|--|---|
| Calcio | Leche, yema de huevo, mariscos, queso, hortalizas verdes | Huesos y dientes, permeabilidad de la membrana celular, transmisión de impulsos nerviosos, contracción muscular, ritmo cardíaco, coagulación sanguínea | D: osteomalacia, osteoporosis, tetania. En niños: raquitismo y retraso del crecimiento |
| | | | E: letargo y confusión, cálculos renales |
| Cloruro | Sal de mesa | Junto con el sodio, mantiene la presión osmótica del líquido extracelular | D: alcalosis, calambres musculares |
| | | | E: vómito |
| Magnesio | Frutos secos, leche, leguminosas, cereales | Componente de coenzimas. Irritabilidad muscular y nerviosa | D: problemas neuromusculares, latidos irregulares |
| | | | E: diarrea |
| Sodio | Sal de mesa | Cation extracelular. Junto con el cloruro, mantiene la presión osmótica del líquido | D: rara; náusea |
| | | | |

| | | | |
|---------|--|--|---|
| | | extracelular. Contracción muscular, transmisión de impulsos nerviosos, equilibrio electrolítico | E: hipertensión, edema |
| Potasio | Frutas, hortalizas y muchos otros alimentos | Cación intracelular. Contracción muscular, transmisión de impulsos nerviosos, equilibrio electrolítico | D: rara: debilidad muscular, náusea, taquicardia |
| | | | E: trastornos cardiacos, debilidad muscular |
| Hierro | Hígado, riñones, carne de res, hortalizas verdes | Componente de la hemoglobina | D: anemia |
| | | | E: hemocromatosis, daño hepático |
| Yodo | Pescados marinos, hortalizas | Componente de hormonas tiroideas | D: hipotiroidismo |
| | | | E: depresión de la síntesis de hormonas tiroideas |

Conclusión

Digestión y nutrición son fundamentales para el mantenimiento de la salud. El tubo digestivo procesa los nutrimentos ingeridos sometiéndolos a degradación mecánica y química. Las estructuras accesorias como el páncreas, hígado y vesícula biliar cumplen una función esencial en el aporte al tubo digestivo de bilis y jugo pancreático, a fin de facilitar la digestión de los macronutrimentos (proteínas, carbohidratos y grasa). El intestino delgado proporciona una gran área superficial para la absorción de nutrimentos, y el hígado procesa los productos de la digestión. El intestino grueso tiene una función excretoria, pues expulsa del cuerpo los productos de desecho de la digestión, y absorbe cualquier resto de agua restante de vuelta al organismo.

El mantenimiento de la homeostasis se logra por medio de una alimentación equilibrada, que incluya una variedad de sustancias de cada uno de los grupos de alimentos.

Sin toda esta actividad, el funcionamiento celular normal estaría en riesgo, y la consecuencia podría ser un problema de salud. La salud digestiva contribuye en gran medida al bienestar físico, psicológico y social.

Glosario

Absorción. Proceso por el cual los productos de la digestión pasan a la sangre o a la linfa.

Ácido clorhídrico. Ácido producido por las células parietales del estómago.

Amilasa. Enzima que digiere carbohidratos.

Amilasa salival. Enzima presente en la saliva que digiere carbohidratos.

Ámpula hepatopancreática. Sitio en que se encuentran el conducto biliar y el conducto pancreático.

Ano. Extremo final del tubo digestivo.

Apéndice vermiforme. Tubo cerrado en un extremo conectado al ciego y constituido por tejido linfático.

Arteria mesentérica superior. Vaso que suministra sangre arterial al intestino delgado.

Bilis. Líquido producido por el hígado para la digestión de grasa.

Bucofaringe. Parte de la faringe más cercana a la cavidad bucal.

Canino (colmillo). Un tipo de diente.

Capa muscular de la mucosa. Capa muscular del tubo digestivo.

Carbohidratos. Uno de los principales grupos de alimentos.

Catabolismo. Proceso de degradar sustancias en otras más simples.

Cavidad bucal. Primera parte del aparato digestivo.

Cavidad pulpar. Centro del diente.

Célula caliciforme. Célula productora de moco.

Célula de Kupffer. Macrófago hepático.

Célula de Paneth. Célula que produce lisozima.

Células mucosas del cuello. Células secretoras de moco del estómago.

Células mucosas superficiales. Células secretoras de moco del estómago.

Células parietales. Células productoras de ácido clorhídrico del estómago.

Células principales. Células productoras de pepsinógeno.

Ciego. Inicio del intestino grueso.

Circulación visceral. Vasos sanguíneos del aparato digestivo.

Colecistocinina. Hormona del aparato digestivo.

Conducto biliar. Tubo que lleva bilis desde el hígado.

Conducto pancreático. Conducto que une el páncreas y el conducto colédoco.

Conducto pilórico. Área en que el estómago se abre al intestino delgado.

Criptas intestinales. También llamadas criptas de Lieberkühn: glándulas situadas en las vellosidades del intestino delgado.

Deglución. Transferencia del bolo alimenticio desde la boca hacia el esófago.

Digestión. Degradación química y mecánica del alimento para su absorción.

Duodeno. Primera parte del intestino delgado.

Epiglotis. Cartílago que cubre la laringe durante la deglución.

Esfínter de Oddi. Válvula que controla el movimiento de bilis y jugo pancreático hacia el intestino delgado.

Esfínter esofágico inferior (cardioesofágico). Válvula entre el esófago y el estómago.

Esfínter esofágico superior. Controla el paso de alimento al esófago desde la bucofaringe.

Esfínter hepatopancreático. Válvula muscular que controla la entrada de jugo pancreático y bilis al duodeno.

Esfínter pilórico. Válvula que controla el movimiento del alimento desde el estómago hasta el intestino delgado.

Esmalte. Capa más externa de los dientes.

Esófago. Tubo muscular que va de la laringofaringe al estómago.

Estercobilina. Producto de desecho de la degradación de bilirrubina.

Estómago. Depósito de alimento donde comienza la digestión.

Factor intrínseco. Sustancia necesaria para la absorción de vitamina B₁₂.

Faringe. Tubo entre la boca y el esófago.

Fase faríngea. Segunda fase de la deglución.

Fase voluntaria. Primera fase de la deglución.

Fibras parasimpáticas. Fibras del sistema nervioso autónomo.

Fisura porta. Área donde vasos sanguíneos y nervios entran y salen del hígado.

Fondo. Región anatómica de la base del estómago.

Frenillo. Pliegue entre la lengua y el piso de la boca.

Glándulas acinares. Producen jugo pancreático.

Glándulas parótidas. Glándulas salivales situadas cerca de las orejas.

Glándulas sublinguales. Glándulas salivales situadas en el piso de la boca.

Glándulas submandibulares. Glándulas salivales situadas abajo del maxilar, en forma bilateral.

Glucólisis. Degradación anaeróbica de glucosa a ácido pirúvico.

Gluconeogénesis. Creación de glucosa a partir de moléculas distintas de los carbohidratos.

Grasas. Uno de los principales grupos de alimentos.

Haustras. Sección sacular del intestino grueso.

Heces. Desecho semisólido pardo del aparato digestivo.

Hepatocito. Célula del hígado.

Hidrólisis. Adición de agua para romper moléculas de alimento.

Hígado. Órgano accesorio localizado en la cavidad abdominal que tiene muchas funciones metabólicas y regulatorias.

Hueso hioides. Hueso que esta en relación con la base de la lengua.

Íleon. Parte final del intestino delgado.

Incisivos. Un tipo de dientes.

Ingestión. Proceso de introducir alimento en el cuerpo colocándolo en la boca.

Lámina propia. Capa de tejido conjuntivo laxo del tubo digestivo.

Laringofaringe. Punto donde se encuentran la laringe y la faringe.

Lipasa. Enzima que digiere grasa.

Lisozima. Enzima bactericida.

Macronutriente. Alimento que se consume en grandes cantidades.

Masticación. Acción mecánica de los dientes sobre el alimento.

Metabolismo. Suma total de las reacciones químicas que ocurren en el organismo.

Micronutriente. Nutriente requerido en pequeñas cantidades.

Microvellosidades. Extensiones citoplásmicas de las vellosidades.

Minerales. Sales; compuestos inorgánicos.

Molares. Tipo de dientes.

Mucosa. Una de las capas del tubo digestivo.

Nutrimento. Producto obtenido de la digestión del alimento y usado por el organismo.

Paladar. Techo de la boca.

Papilas. Pequeñas proyecciones mucosas.

Pepsina. Enzima que participa en la degradación de las proteínas.

Pepsinógeno. Precursor enzimático de la pepsina.

Peristaltismo. Contracciones ondulatorias que desplazan el alimento por el tubo digestivo.

Peritoneo. Membrana serosa que recubre la cavidad abdominal.

Peritoneo visceral. Parte más interna del peritoneo que está en contacto con los órganos abdominales.

Placas de Peyer. Tejido linfático del intestino delgado.

Plexo de Meissner. Nervios del intestino delgado.

Plexo mesentérico. Inervación del tubo digestivo.

Pliegues circulares. Pliegues circulares permanentes en el intestino delgado.

Pliegues. Dobleces o bordes en el tubo digestivo.

Premolares. Tipo de diente situado entre el canino y el molar.

Propulsión. Proceso de desplazar el alimento a lo largo del aparato digestivo.

Proteínas. Sustancias que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno.

Quimo. Masa cremosa semilíquida de alimento digerido en forma parcial y mezclado con secreciones gástricas.

Recto. Porción final del intestino grueso.

Región del cardias. Una de las regiones del estómago, la más cercana al esófago.

Región del cuerpo. Una de las regiones del estómago.

Región pilórica. Área del estómago en que éste se encuentra con el intestino delgado.

Regiones hipocondriacas. Divisiones laterales superiores de la cavidad abdominopélvica.

Secretina. Hormona que regula la secreción de jugo pancreático.

Segmentación. Movimiento de quimo en el intestino delgado.

Serosa. Capa más externa del tubo digestivo.

Sinusoide hepático. Capilar hepático.

Submucosa. Capa gruesa de tejido conjuntivo del tubo digestivo.

Tenias del colon. Bandas musculares del intestino grueso.

Tríada portal. Ángulo del lóbulo hepático.

Úvula. Pequeña proyección de tejido desde el paladar blando.

Válvula ileocecal. Punto en que se encuentran los intestinos delgado y grueso.

Vaso quilífero. Capilar linfático del intestino delgado.

Vellosidades. Diminutas proyecciones digitiformes en la superficie de la mucosa del intestino delgado.

Vena mesentérica superior. Vaso que drena sangre venosa del intestino delgado.

Vena porta hepática. Vena que suministra nutrimentos disueltos al hígado.

Vitaminas. Compuestos orgánicos esenciales que el cuerpo requiere en pequeñas cantidades.

Yeyuno. Parte media del intestino delgado, entre el duodeno y el íleon.

Bibliografía

- Cohen, B.J. and Hull, K.L. (2015) *Memmlers's The Human Body in Health and Disease*, 13th edn. Philadelphia, PA: Wolters Kluwer.
- Department of Health (2003) *The Essence of Care: Patient-Focused Benchmarks for Clinical Governance*. London: The Stationery Office.
- Galbraith, A., Bullock, S., Manias, E., Hunt, B. and Richards, A. (2007) *Fundamentals of Pharmacology. An Applied Approach for Nursing and Health*, 2nd edn. Abingdon: Routledge.
- Marieb E.N. (2009) *Essentials of Human Anatomy & Physiology*, 9th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Marieb, E.N. and Hoehn K. (2010) *Human Anatomy and Physiology*, 8th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Nair, M. and Peate, I. (2013) *Fundamentals of Applied Pathophysiology. An Essential Guide for Nursing Students*, 2nd edn. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- NICE (2010) *Pancreatitis – Chronic*. <http://cks.nice.org.uk/pancreatitis-chronic> (accessed 25 November 2015).
- NICE (2014a) *Gastro-oesophageal Reflux and Dyspepsia in Adults: Investigation and Management*. NICE guidelines [CG184]. <http://www.nice.org.uk/guidance/cg184> (accessed 25 November 2015).
- NICE (2014b) *Constipation*. <http://cks.nice.org.uk/constipation#!scenariorecommendation:4> (accessed 25 November 2015).
- Seeley, R.R., Stephens, T.D. and Tate, P. (2008) *Anatomy and Physiology*, 8th edn. New York: McGraw-Hill.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2012) *Essentials of Anatomy and Physiology*, 9th edn. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Lecturas adicionales

<http://www.crohnsandcolitis.org.uk/>

Crohn's & Colitis UK es un organización de beneficencia para personas afectadas por la enfermedad inflamatoria intestinal.

<https://www.nice.org.uk/guidance/cg152>

Enlace a guías clínicas para la enfermedad de Crohn: manejo en adultos, niños y adolescentes.

<http://www.colostomyassociation.org.uk/>

La Colostomy Association es una organización sin fines de lucro para personas con colostomía.

<http://www.nationalsmilemonth.org/>

Iniciativa para mejorar la salud y la higiene bucales. Es organizada por una organización no lucrativa llamada British Dental Health Foundation.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Cuál de las siguientes vitaminas es esencial para la coagulación?
 - (a) Vitamina A.
 - (b) Vitamina B₁₂.
 - (c) Vitamina E.
 - (d) Vitamina K.
2. ¿Cuál mineral presente en el brócoli es un componente esencial de la hormona tiroidea tiroxina?
 - (a) Hierro.
 - (b) Yodo.
 - (c) Calcio.
 - (d) Potasio.
3. ¿Cuál de los siguientes enunciados es válido para la grasa?
 - (a) Se usa en el crecimiento y reparación de las células.
 - (b) Es un constituyente de las vainas de mielina.
 - (c) Es esencial para el transporte de las vitaminas hidrosolubles.
 - (d) Todo lo anterior.
4. ¿Cuál capa del tubo digestivo es responsable de la peristalsis?
 - (a) Mucosa.
 - (b) Submucosa.
 - (c) Muscular.
 - (d) Peritoneo.
5. ¿Cuál de las siguientes estructuras se considera un órgano accesorio?
 - (a) Glándula salival.
 - (b) Páncreas.
 - (c) Hígado.
 - (d) Todas las anteriores.
6. ¿Dónde ocurre la mayor parte de la absorción de nutrimentos?
 - (a) Intestino delgado.
 - (b) Intestino grueso.
 - (c) Estómago.
 - (d) Esófago.
7. No es un componente del jugo gástrico:
 - (a) Ácido clorhídrico.
 - (b) Moco.
 - (c) Factor intrínseco.
 - (d) Tripsinógeno.
8. ¿Cuál enzima interviene en la degradación de las proteínas?
 - (a) Quimotripsina.
 - (b) Lipasa.
 - (c) Amilasa.
 - (d) Bilis.
9. ¿Dónde se produce la bilis?

- (a) Intestino delgado.
 - (b) Vesícula biliar.
 - (c) Páncreas.
 - (d) Hígado.
10. ¿Cuál parte del intestino grueso es tejido linfático?
- (a) Apéndice.
 - (b) Ciego.
 - (c) Asa ascendente.
 - (d) Colon sigmoides.

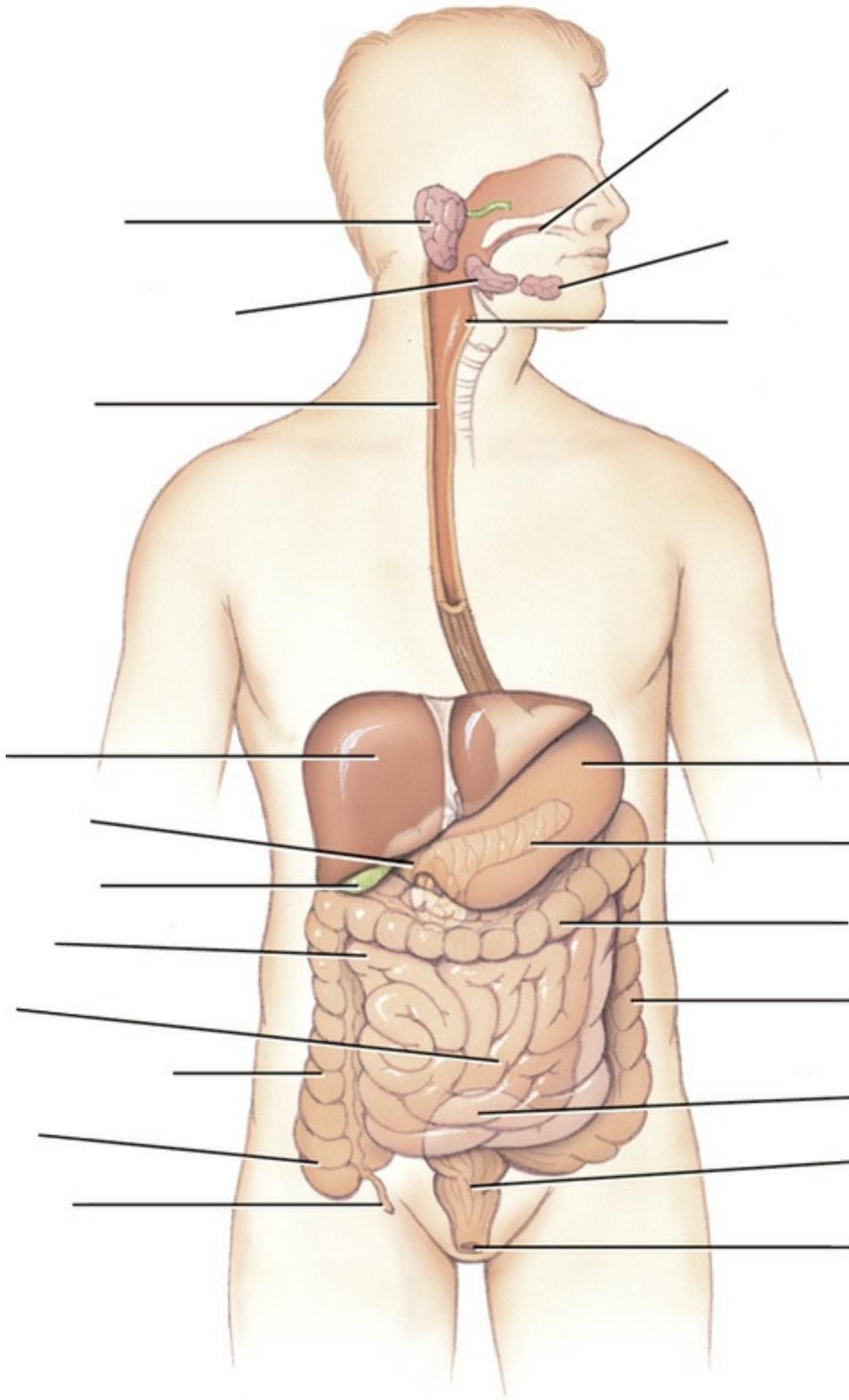
Falso o verdadero

1. El intestino grueso está colonizado por bacterias.
2. La primera sección del intestino delgado se denomina yeyuno.
3. El jugo pancreático llega al duodeno a través del conducto cístico.
4. La función de la bilis es emulsificar las grasas.
5. Hay 20 dientes temporales.
6. La enzima que actúa en los carbohidratos es la lipasa.
7. El sentido del gusto mejora cuando el alimento no es seco.
8. El esófago sólo contiene músculo liso.
9. El factor intrínseco es producido por células enteroendocrinas.
10. La secreción de jugo gástrico aumenta durante la fase intestinal.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

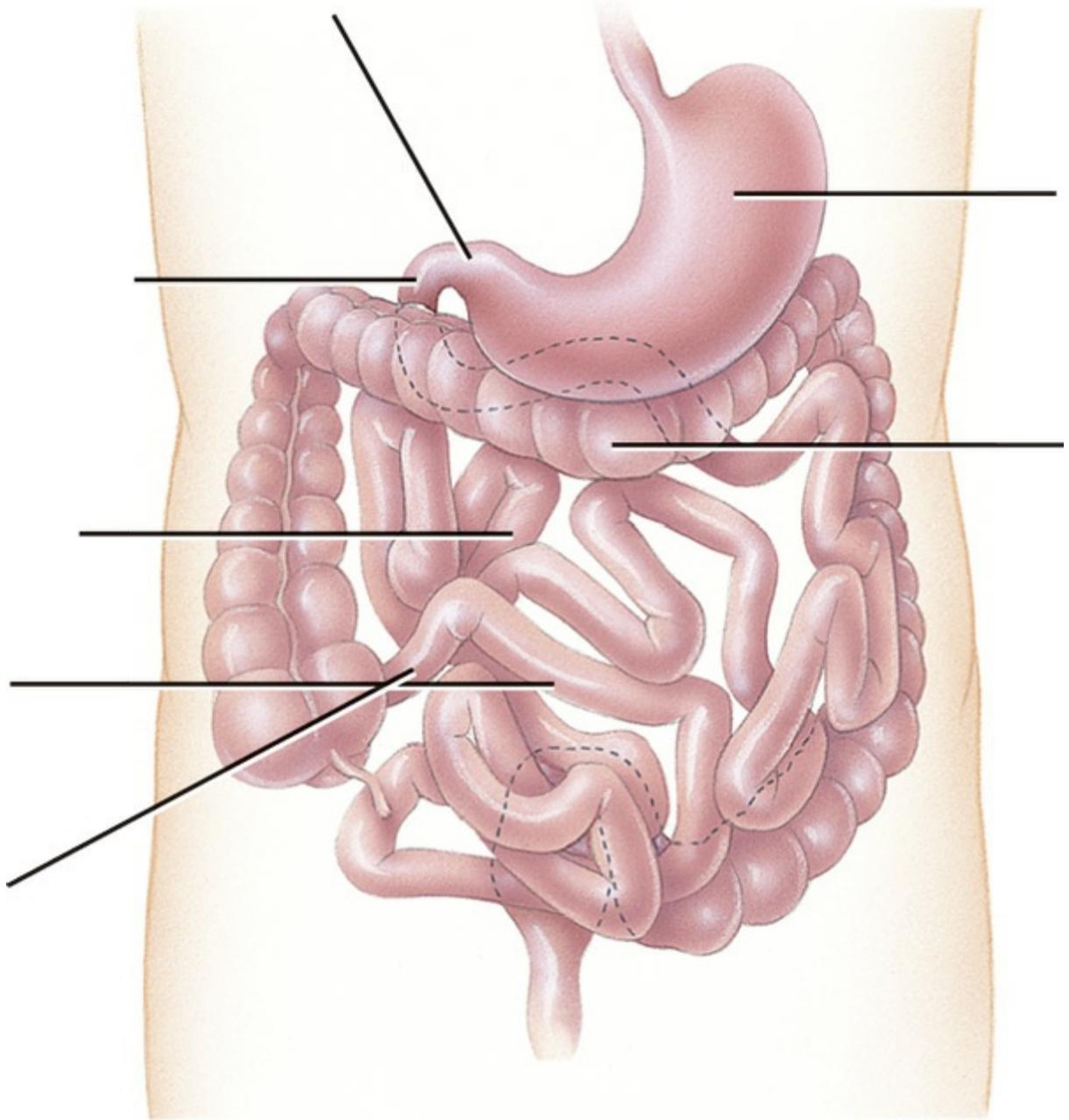
Glándula parótida (glándula salival), Glándula submandibular (glándula salival), Esófago, Hígado, Duodeno, Vesícula biliar, Yeyuno, Íleon, Colon ascendente, Ciego, Apéndice, Boca (cavidad bucal), Glándula sublingual (glándula salival), Faringe, Estómago, Páncreas, Colon transversal, Colon descendente, Colon sigmoides, Recto, Ano



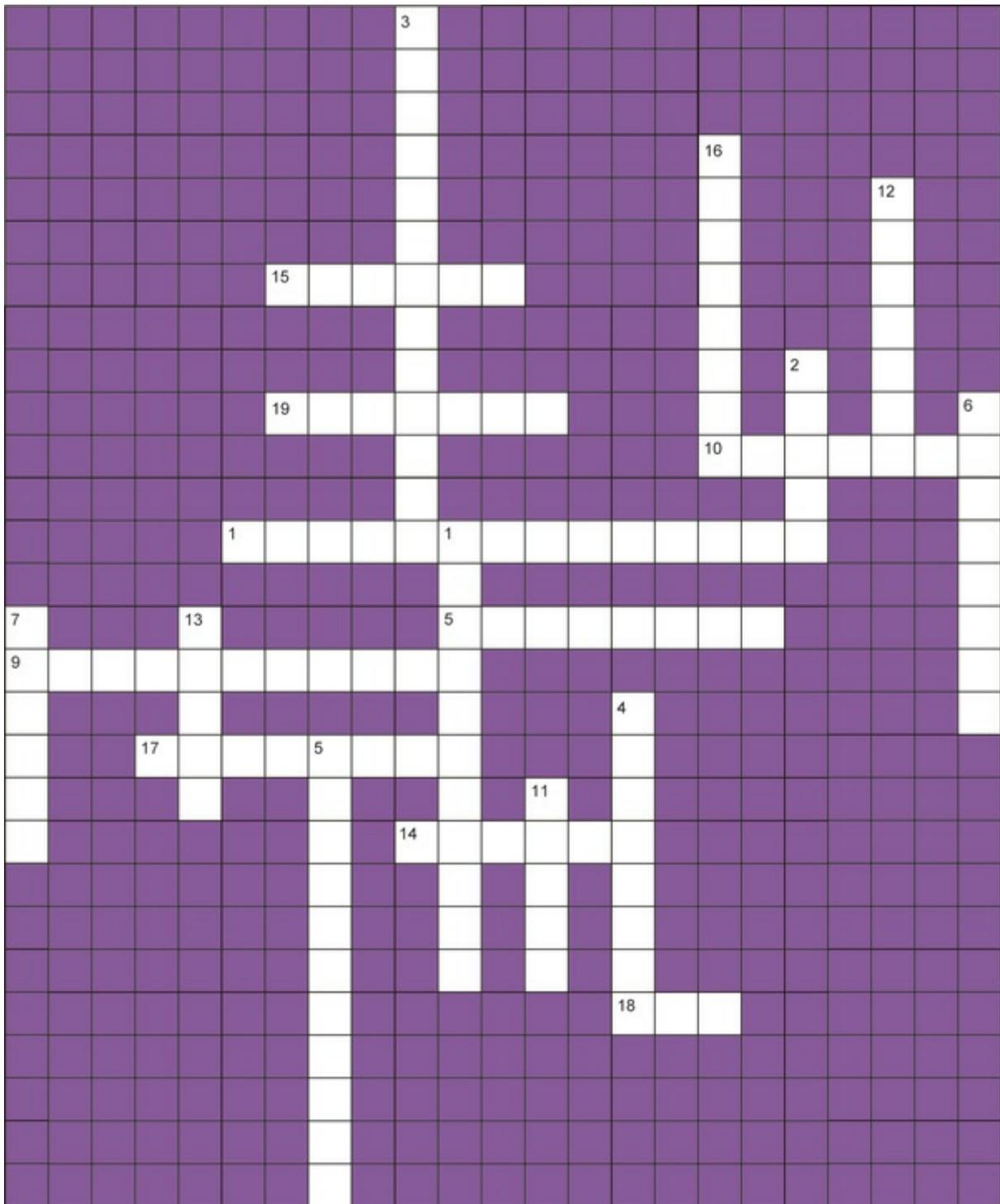
Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Píloro, Duodeno, Yeyuno, Íleon, Válvula ileocecal, Estómago, Intestino grueso



Crucigrama



Horizontales:

1. Otro nombre para la vitamina C (5, 9).
5. Diente cortante (8).
9. Función del intestino grueso (11).
10. Enzima responsable de la degradación de carbohidratos (7).
14. Otro nombre para la grasa (6).
15. Capa más interna del tubo digestivo (6).
17. Molécula orgánica esencial (8).
18. Extremo final del aparato digestivo (3).

19. Vía de paso para aire y alimento (7).

Verticales:

1. Las proteínas se desdoblán en (11).
2. Alimento mezclado con ácido clorhídrico (5).
3. Describa el movimiento del tubo digestivo (13).
4. Componente antibacteriano de la saliva (8).
6. Digestión mecánica en la boca (11).
7. Una de las glándulas salivales (8).
8. Porción media del intestino delgado (6).
11. Entrada al intestino grueso desde el intestino delgado (5).
12. Enzima responsable de la digestión de proteínas (7).
13. Se produce en el hígado, y es necesaria para la digestión de grasas (5).
16. Hormona que estimula la secreción de ácido clorhídrico (8).

Llene los espacios

El aparato digestivo también se conoce como _____. La acción de enzimas en el alimento ingerido se conoce como digestión _____. El batido del alimento ingerido por la actividad muscular del aparato digestivo se denomina digestión _____. El aparato digestivo es protegido contra patógenos invasores por la presencia de _____ en la amilasa salival y de _____ producido por las células _____ del estómago.

La digestión de _____ comienza en el estómago. _____ es el nombre de la enzima implicada en la degradación de carbohidratos. La digestión de las grasas depende de la presencia de _____ y _____.

mecánica, lisozima, tubo digestivo, lipasa, ácido clorhídrico, química, amilasa, parietales, proteínas, bilis

Para profundizar

1. ¿Qué es la gingivitis y qué aconsejaría para prevenirla?
2. La candidosis bucal (estomatomicosis) afecta a muchos pacientes hospitalizados. ¿Puede sugerir una posible razón de ello y exponer el tratamiento disponible?
3. ¿Cuál es la función de la enfermera en los cuidados de un paciente con disfagia?
4. Comente las afecciones que podrían hacer que un paciente requiriera una ileostomía.
5. Distinga entre colostomía e ileostomía.
6. A una mujer de 28 años de edad se le formó una colostomía. Ella le pregunta a usted cómo afectaría a ésta el que ella se embarazara. ¿Qué le diría a la paciente?

7. Analice cómo reacciona el aparato digestivo a la inanición.
8. Investigue los servicios disponibles para pacientes con síndrome de colon irritable a fin de ayudarlos en su vida diaria.
9. Se dispone de diversos medicamentos para minimizar o eliminar las afecciones del aparato digestivo relacionadas con el ambiente ácido del estómago. Investigue estos medicamentos y considere cuándo pueden usarse.
10. El estreñimiento es un trastorno muy común del aparato digestivo. ¿Cuál es la función de la enfermera en lo que se refiere a su prevención?

Ponga a prueba su aprendizaje

1. ¿Por dónde entran al duodeno la bilis y el jugo pancreático?
2. ¿Cuáles dientes se usan para moler el alimento?
3. ¿Para qué es esencial el producto pancreático exocrino?
4. ¿A qué se degradan los carbohidratos?
5. Enumere las enzimas implicadas en la degradación de proteínas.

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos genéticos relacionados con el aparato digestivo. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Úlcera péptica

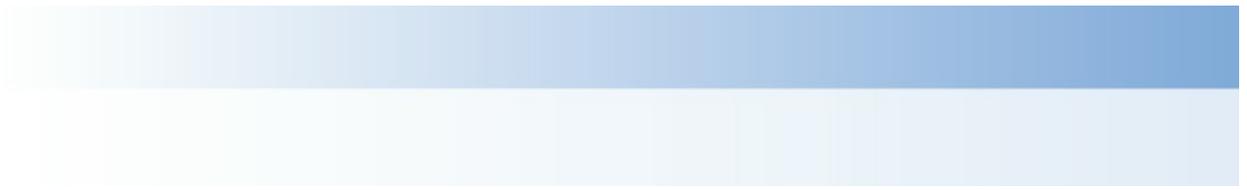
Peritonitis

Colitis ulcerosa

Íleo paralítico

Obesidad

Desnutrición



Capítulo 10

Aparato urinario

Muralitharan Nair

Ponga a prueba sus conocimientos previos

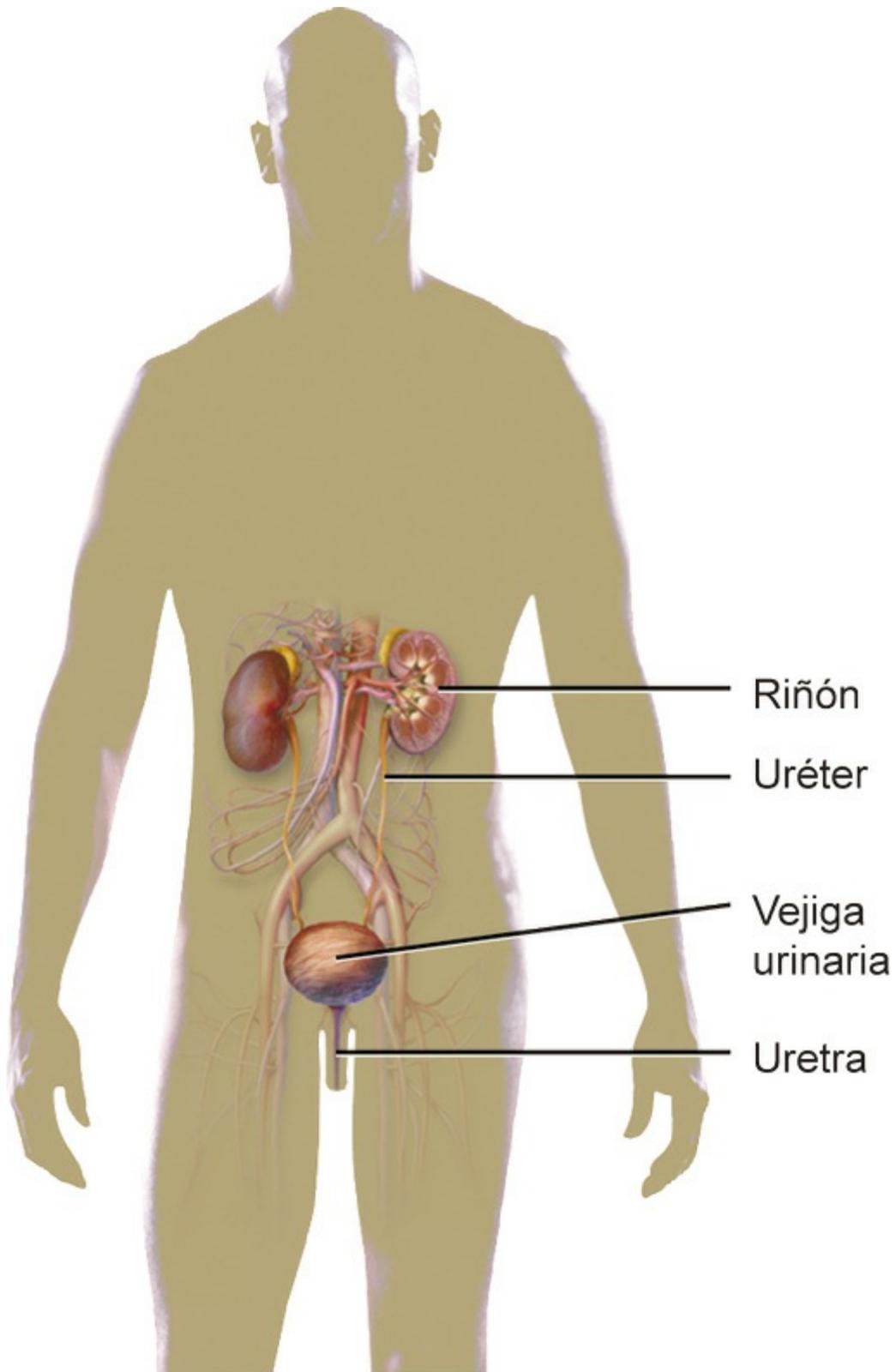
- Indique las funciones de los riñones
- Enumere los órganos que constituyen el aparato urinario
- Enliste los componentes de una nefrona
- Exprese la composición de la orina
- ¿Cuál es el color de la orina? Piense en la destrucción de los eritrocitos

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir la estructura y funciones del riñón
- Describir las estructuras microscópicas del riñón
- Explicar la filtración glomerular
- Indicar la composición química de la orina
- Comentar la estructura y funciones de la vejiga

Mapa del cuerpo



Introducción

Los riñones tienen una importante función en el mantenimiento de la homeostasis. Eliminan productos de desecho por medio de la producción y excreción de orina, y regulan el equilibrio hídrico del cuerpo. Como parte de su función, los riñones filtran sustancias esenciales de la sangre, como el sodio y el potasio, y reabsorben de manera selectiva sustancias esenciales para mantener la homeostasis. Cualesquiera sustancias no esenciales se excretan en la orina. La formación de la orina se realiza mediante los procesos de filtración, reabsorción selectiva y excreción. Los riñones tienen además una función endocrina, pues secretan hormonas como la renina y la eritropoyetina. En este capítulo se exponen la estructura y las funciones del aparato urinario. También se presentan algunos trastornos comunes, su manejo y tratamiento de enfermería.

Aparato urinario

El aparato urinario consiste en:

- Riñones, filtran la sangre para producir orina.
- Uréteres, transportan la orina a la vejiga.
- Vejiga urinaria, un órgano de almacenamiento de orina hasta que ésta se elimina.
- Uretra, lleva la orina de la vejiga al exterior.

En la figura 10-1 se muestran los órganos del aparato urinario.

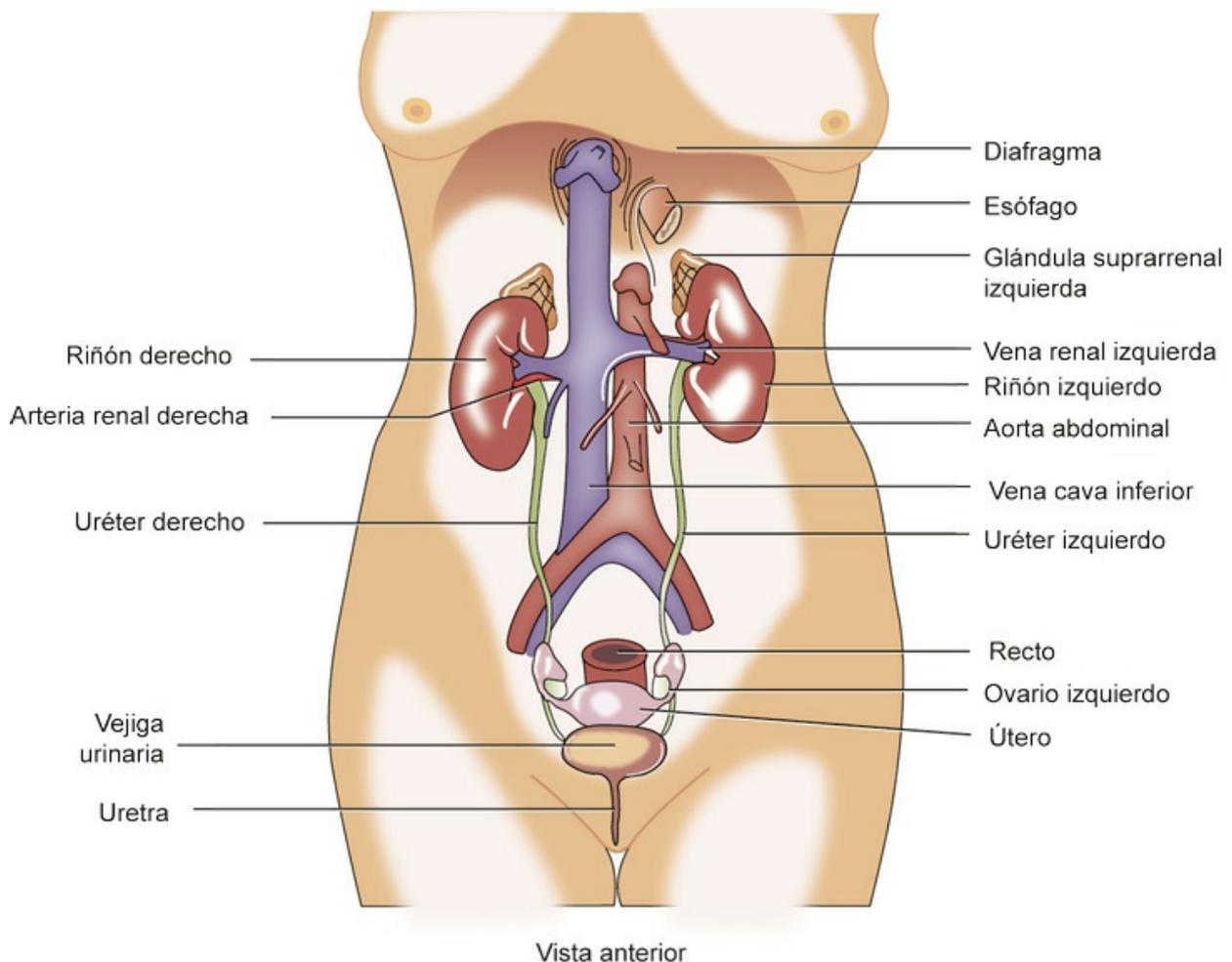


Figura 10-1. Órganos del aparato urinario. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los órganos del aparato urinario aseguran que se mantenga un ambiente interno estable para la supervivencia de las células y los tejidos del organismo; esto es, la homeostasis.

Riñones: estructura externa

Hay dos riñones, uno a cada lado de la columna vertebral. Miden unos 11 cm de largo, 5 a 6 cm de ancho y 3 a 4 cm de espesor. Se dice que son órganos con forma de frijol, con el borde externo convexo; el borde interno se denomina hilio, y es aquí donde las arterias renales, venas renales, nervios y uréteres entran y salen de los riñones. La arteria renal lleva sangre a los riñones, y una vez que ésta es filtrada, la vena renal la recibe. El riñón derecho está en contacto con el lóbulo derecho (mayor) del hígado, de aquí que esté unos 2 a 4 cm más abajo que el riñón izquierdo.

Hay tres capas que cubren y soportan los riñones:

- Aponeurosis renal.
- Tejido adiposo.
- Cápsula renal.

La aponeurosis renal es la capa externa y consiste en una delgada capa de tejido conjuntivo que fija los riñones a la pared abdominal y los tejidos circundantes. La capa intermedia es de tejido adiposo y cubre la cápsula. Protege a los riñones contra los traumatismos. La capa interna se denomina cápsula renal. Consiste en una capa de tejido conjuntivo liso que es continua con la capa externa del uréter. La cápsula renal protege a los riñones de traumatismos y mantiene su forma. En la figura 10-2 se presentan las capas externas.

Consideraciones clínicas

Trasplante renal

La principal función de los riñones es filtrar productos de desecho de la sangre y convertirlos en orina. Si los riñones pierden esta capacidad, los productos de desecho pueden acumularse, lo cual es peligroso y puede poner en riesgo la vida. Esta pérdida del funcionamiento renal, conocida como nefropatía crónica terminal o insuficiencia renal, es la causa más común que hace necesario un trasplante renal.

El trasplante renal es una cirugía mayor que requiere unas 3 h. Un riñón proveniente de un donador vivo podría tardar 3 a 5 días en recuperar su funcionamiento normal, mientras que un riñón de cadáver llega a tardar 7 a 15 días. Después de la cirugía, se usan fármacos inmunosupresores para suprimir la reacción de rechazo del sistema inmunitario contra el riñón de donador. El receptor debe tomar esos medicamentos por el resto de su vida. El esquema medicamentoso más común en la actualidad es una combinación de tacrolimo, micofenolato y prednisona.

A los receptores de trasplante renal se les desaconseja consumir toronja, granada y productos de té verde. Se sabe que esos alimentos interactúan con los medicamentos inmunosupresores, específicamente con el tacrolimo, ciclosporina y sirolimo; los valores sanguíneos de estos fármacos pueden elevarse, con el peligro de sobredosis. Un modo de vida saludable después de un trasplante renal es muy importante para minimizar el riesgo de complicaciones.

Véase NHS Choices (2015a).

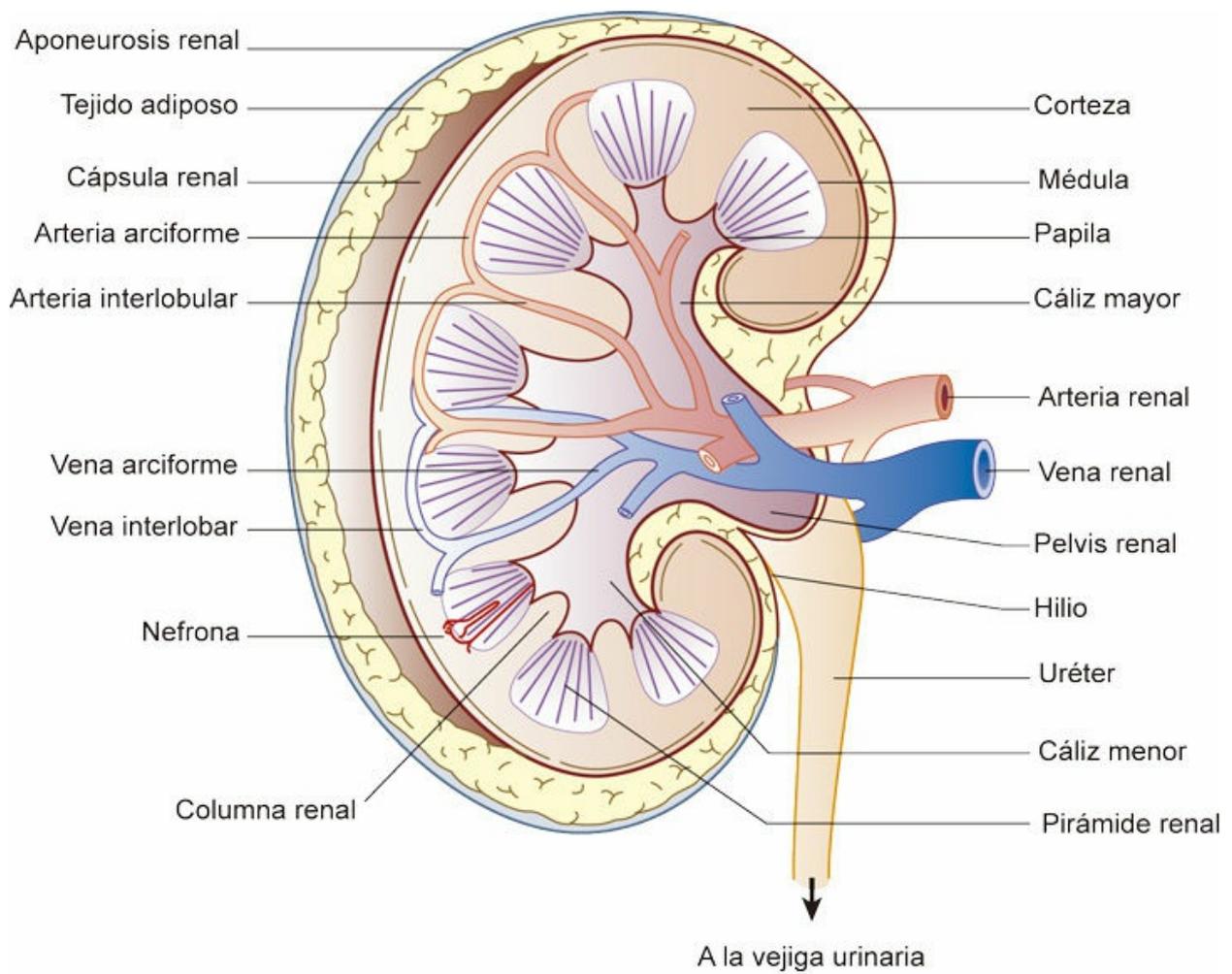


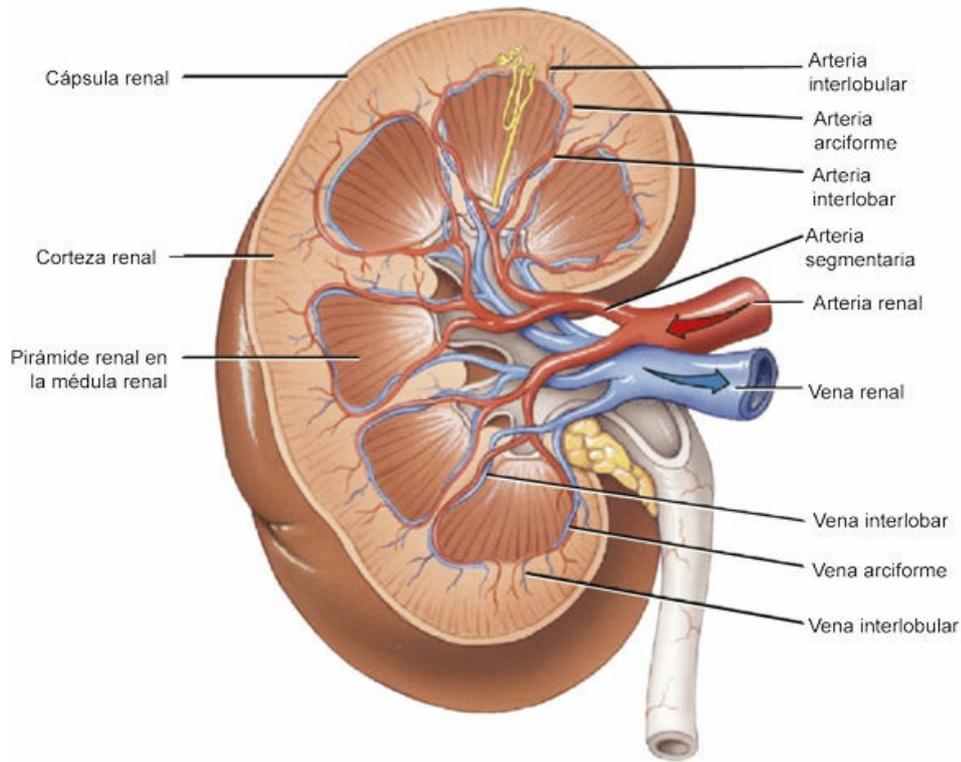
Figura 10-2. Capas externas del riñón.

Riñones: estructura interna

Hay tres regiones bien delimitadas dentro del riñón:

- Corteza renal.
- Médula renal.
- Pelvis renal.

La corteza renal es la parte más externa del riñón. En los adultos, constituye una porción externa lisa continua del riñón con varias proyecciones (columna renal) que se extienden entre las pirámides. La columna renal es la extensión medular de la corteza renal. La corteza renal es de color rojizo y tiene aspecto granular, debido a los capilares y las estructuras de la nefrona. La médula es de color más claro y tiene abundantes vasos sanguíneos y túbulos de las nefronas (figura 10-3). Consiste en unas 8 a 12 pirámides renales (figura 10-3). Las pirámides renales, también llamadas pirámides de Malpighi, son secciones cónicas de los riñones. La parte más ancha del cono da a la corteza renal, mientras que el extremo estrecho se dirige hacia dentro, y esta sección se denomina papila renal. La orina formada por las nefronas fluye hacia estructuras en forma de copa, llamadas cálices, vía conductos papilares. Cada riñón contiene unos 8 a 18 cálices menores y 2 o 3 cálices mayores. Los cálices menores reciben orina de la papila renal, que lleva la orina a los cálices mayores. Éstos se unen para formar la pelvis (o pelvicilla) renal, que entonces lleva la orina a la vejiga (figura 10-4). La pelvis renal forma la porción expandida superior del uréter, que tiene forma de embudo y es la región donde convergen 2 o 3 cálices.



(a) Sección frontal del riñón derecho



(b) Trayecto del flujo sanguíneo

Figura 10-3. (a, b) Estructuras internas del riñón: vasos sanguíneos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

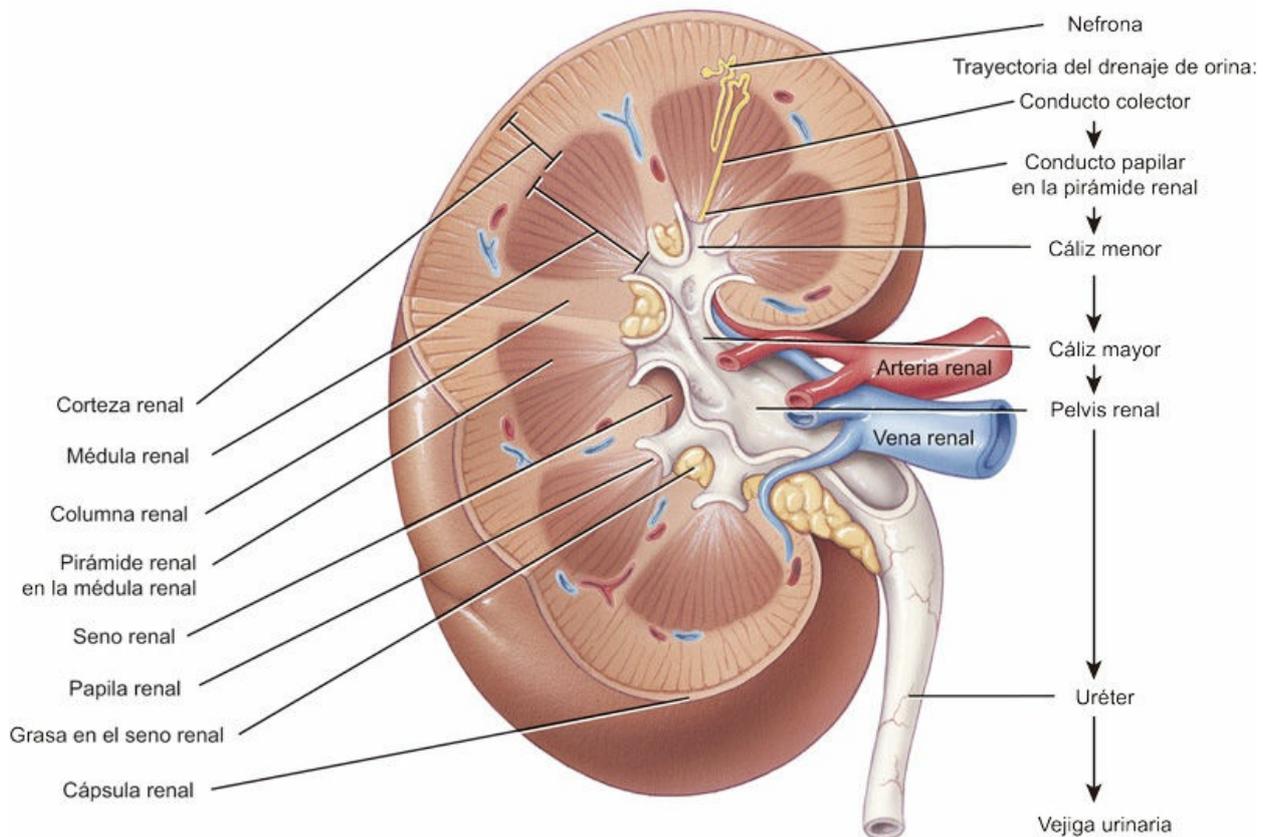


Figura 10-4. Estructuras internas del riñón. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Manejo de medicamentos

Ciclosporina

La ciclosporina deprime el sistema inmunitario, responsable de combatir las infecciones. El sistema inmunitario también ataca o “rechaza” un órgano trasplantado, como un hígado o un riñón. Esto se debe a que el sistema inmunitario trata al nuevo órgano como un invasor. La ciclosporina se usa para prevenir el rechazo del riñón, hígado o corazón trasplantados.

Entre los signos de reacción alérgica al medicamento se incluyen: urticaria; dificultad para respirar; edema de cara, labios, lengua o garganta.

Algunos de los efectos adversos graves son:

- Micción disminuida o nula.
- Somnolencia, confusión, cambios en el estado de ánimo, aumento de la sed.
- Tumefacción, aumento de peso, falta de aliento (disnea).
- Visión borrosa, cefalea o dolor atrás de los ojos, en ocasiones con vómito.
- Convulsiones.
- Dolor o debilidad musculares, taquicardia, mareo.
- Signos de infección, como fiebre, calosfríos, dolor de garganta, síntomas gripales.
- Palidez cutánea, propensión a la equimosis o el sangrado, debilidad inusual.
- Náusea, dolor de estómago, anorexia, prurito, coluria (orina oscura), acolia (heces claras) e ictericia (tono amarillento de la piel o los ojos).

Debe llamarse al médico de inmediato si el paciente presenta cualquier signo de insuficiencia renal, como micción disminuida o nula, somnolencia, confusión, cambios en el estado de ánimo, polidipsia, pérdida del apetito, náusea y vómito, edema, aumento de peso o disnea (falta de aliento).

Véase RxList (2012).

Caso clínico

Paciente con obstrucción renal

Samuel Ramos, de 58 años, vive en una casa sola con su esposa Patricia y sus dos hijas, María y Rebeca. Samuel es un hombre de negocios, y su esposa es maestra de escuela. Sus hijas van a esta misma escuela.

Samuel ha tenido un dolor inespecífico constante bajo las costillas del lado derecho durante un par de semanas. Se lo ocultó a su esposa, y soportó el dolor y el malestar. Un día, Samuel notó sangre en la orina y se lo comentó a su esposa, así como el dolor. Patricia está molesta porque él le ocultó esta información, e insiste en que vea al médico para que vaya a la raíz del problema.

Samuel hace una cita, y el día acordado acude con su esposa al consultorio. Después de algunas preguntas y exploración física, el médico envía a Samuel al hospital de la localidad para que consulte al urólogo.

Samuel es atendido por el urólogo en consulta externa. Una ecografía (ultrasonido) revela un cálculo en forma de asta de ciervo en el riñón derecho. Samuel ingresa al hospital la semana siguiente para una nefrectomía derecha; se recuperó sin contratiempos y fue dado de alta para ser atendido por el equipo médico de la comunidad.

Si un cálculo renal no se detecta y trata a tiempo, puede crecer hacia los cálices renales (figura 10-5) y dañar permanentemente ese riñón, como en el caso de Samuel. Si se detecta en una fase temprana, el riñón puede salvarse extirpando el cálculo antes de que cause daños. Si un cálculo renal es demasiado grande para ser expulsado de manera espontánea (6 a 7 mm de diámetro o más), puede extraerse mediante:

- Litotripsia por onda de choque extracorporal.
- Ureteroscopia.
- Nefrolitotomía percutánea.

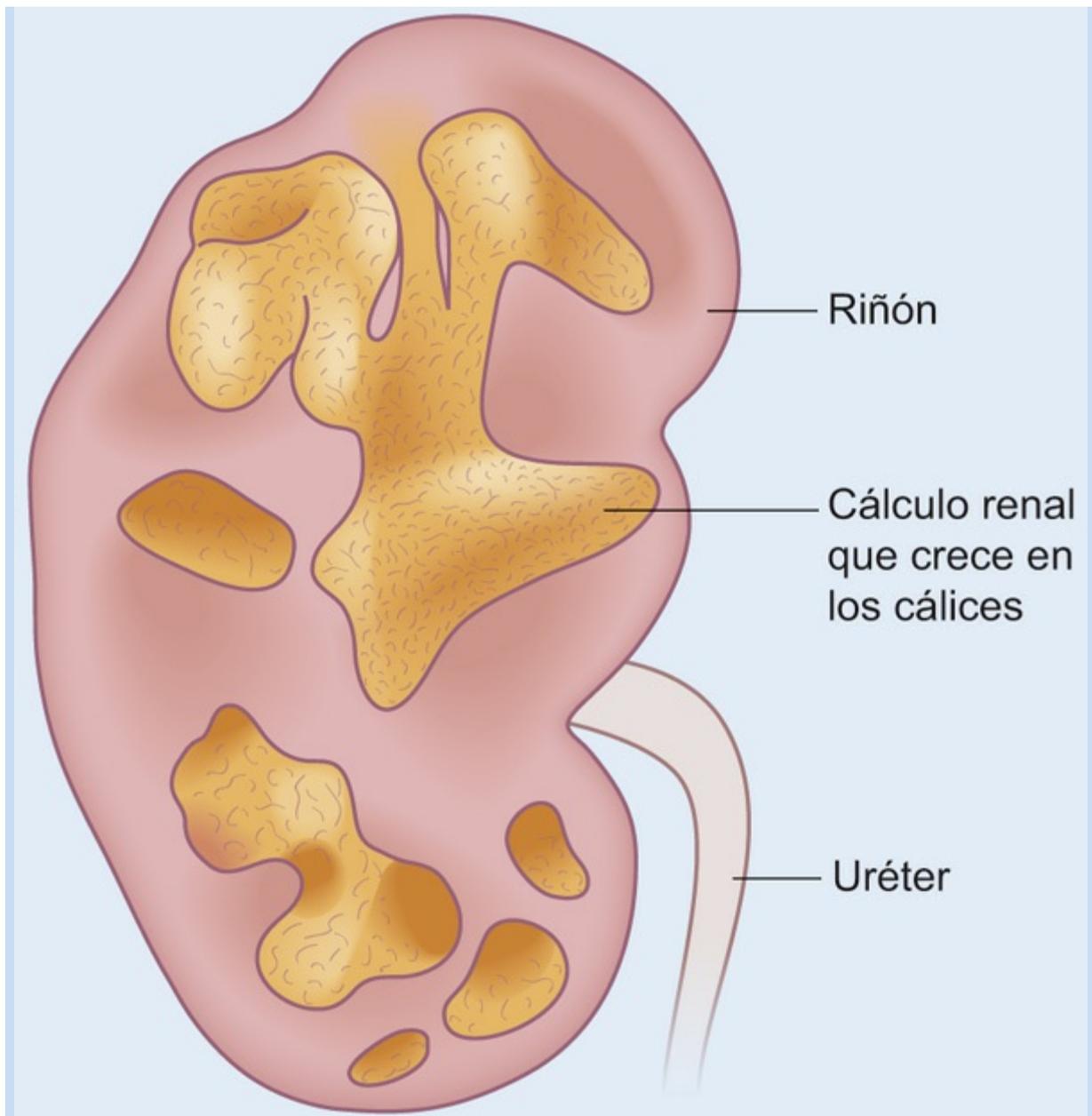


Figura 10-5. Riñón obstruido.

Véase NHS Choices (2014a).

Nefronas

Las nefronas son pequeñas estructuras que constituyen las unidades funcionales del riñón. Consisten en un glomérulo y un túbulo renal (figura 10-6). Hay alrededor de un millón de nefronas en cada riñón, y es en estas estructuras donde se forma la orina. Sus funciones son:

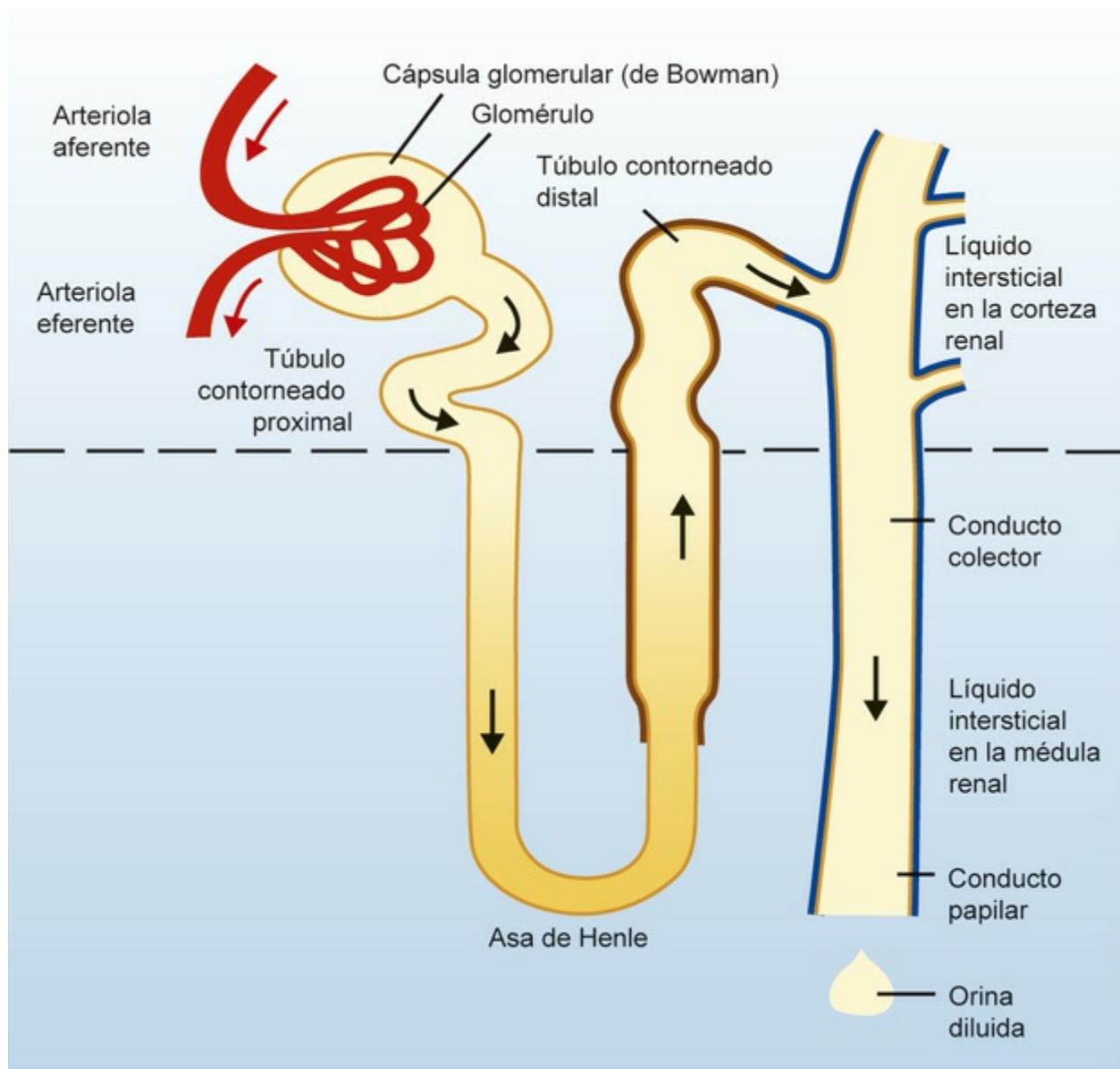


Figura 10-6. Nefrona. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Filtrar sangre.
- Realizar la reabsorción selectiva.
- Excretar productos de desecho de la sangre filtrada.

La nefrona es parte del mecanismo homeostático del cuerpo. Este sistema ayuda a regular la cantidad de agua, sales, glucosa, urea y otros minerales en el organismo. La nefrona es un sistema de filtración localizado en el riñón, y es responsable de la reabsorción de agua y sales. Se divide en varias secciones:

- Cápsula glomerular (de Bowman).
- Túbulo contorneado proximal (TCP).
- Asa de Henle.
- Túbulo contorneado distal (TCD).
- Conductos colectores.

Cada sección realiza una función diferente; éstas se consideran en las siguientes páginas.

Cápsula glomerular (de Bowman)

También llamada cápsula glomerular (figura 10-7), la cápsula glomerular es un saco en forma de copa que constituye la primera porción de la nefrona. Forma parte del sistema de filtración de los riñones. Cuando la sangre llega a los riñones para ser filtrada, ingresa primero en la cápsula glomerular, que la separa en dos componentes: un producto sanguíneo filtrado y un filtrado que avanza por la nefrona, otra estructura de los riñones. La cápsula glomerular consiste en las capas visceral y parietal (figura 10-7). La capa visceral está recubierta de células epiteliales llamadas podocitos, mientras que la capa parietal está revestida por epitelio pavimentoso simple; es en la cápsula glomerular donde se encuentra la red de capilares llamada glomérulo (Marieb and Hoehn, 2013). La filtración de la sangre se realiza en esta parte de la nefrona.

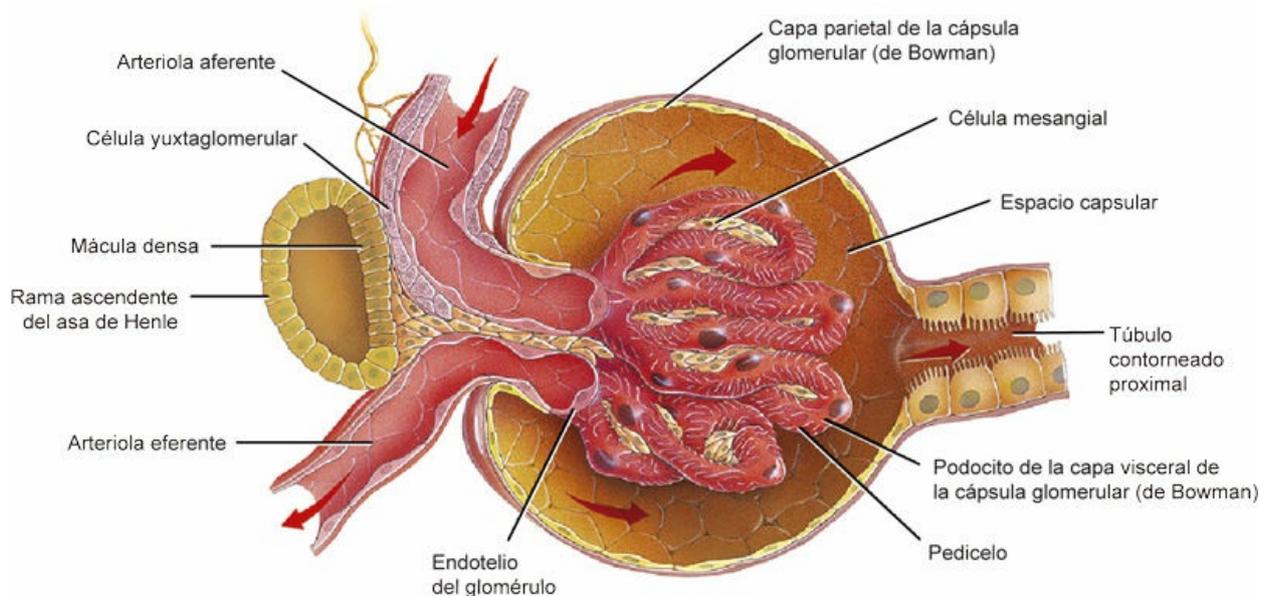


Figura 10-7. Cápsula glomerular (de Bowman). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Túbulo contorneado proximal (TCP)

De la cápsula glomerular, el filtrado drena hacia el túbulo contorneado proximal (figura 10-6). La superficie de las células epiteliales de este segmento de la nefrona está cubierta con microvellosidades densamente empacadas. Las microvellosidades incrementan el área superficial de las células, con lo que facilitan su trabajo de reabsorción. Las membranas replegadas que forman las microvellosidades son el sitio de numerosas bombas de sodio. La reabsorción de sal, agua y glucosa desde el filtrado glomerular ocurre en esta sección del

túbulo; al mismo tiempo, determinadas sustancias, incluidos el ácido úrico y metabolitos de fármacos, se transfieren en forma activa desde los capilares sanguíneos hacia el túbulo para su excreción.

Asa de Henle

El túbulo contorneado proximal se flexiona entonces en un asa llamada asa de Henle (figura 10-6). El asa de Henle es la parte del túbulo que se dirige de la corteza a la médula (rama descendente), y luego regresa a la corteza (rama ascendente). El asa de Henle se divide en las ramas descendente y ascendente. La rama ascendente del asa de Henle es mucho más gruesa que la descendente. La principal función del asa de Henle es generar un gradiente de concentración que crea una zona de alta concentración de sodio en la médula renal. La rama descendente del asa de Henle es muy permeable al agua y tiene baja permeabilidad a iones y urea. La rama ascendente del asa de Henle es permeable a iones pero no al agua. Cuando se requiere, la orina se concentra en esta porción de la nefrona. Esto es posible debido a la alta concentración de soluto en la sustancia o intersticio de la médula. Esta alta concentración de solutos es mantenida por el multiplicador a contracorriente. Las diferentes partes del asa de Henle tienen distintas acciones:

- La rama descendente del asa de Henle es relativamente impermeable al soluto pero permeable al agua, de modo que el agua sale por ósmosis y el líquido en el túbulo se hace hipertónico.
- La sección delgada de la rama ascendente del asa de Henle es virtualmente impermeable al agua, pero permeable al soluto, en especial a iones sodio y cloruro. Así, los iones sodio y cloruro salen a favor del gradiente de concentración; el líquido dentro del túbulo primero se hace isotónico y luego hipotónico a medida que salen más iones. La urea, que se absorbió en el intersticio medular desde el conducto colector, se difunde en la rama ascendente. Esto mantiene la urea dentro del intersticio medular, donde también participa en la concentración de la orina.
- La sección gruesa de la rama ascendente del asa de Henle y el principio del túbulo distal son impermeables al agua. Sin embargo, los iones sodio y cloruro son transportados en forma activa hacia fuera del túbulo, haciendo muy hipotónico el líquido tubular.

Túbulo contorneado distal (TCD)

La porción ascendente gruesa del asa de Henle entra en el túbulo contorneado distal (TCD, figura 10-6). El TCD está recubierto por una capa simple de células cúbicas, y la luz del TCD es mayor que la del túbulo contorneado proximal debido a que éste tiene un borde en cepillo (microvellosidades). El TCD es un sitio importante porque:

- Secreta activamente iones y ácidos.
- Participa en la regulación de los iones calcio al excretar el exceso de éstos en respuesta a la hormona calcitonina.
- Reabsorbe agua de manera selectiva.
- También se localizan aquí proteínas 2 receptoras de arginina vasopresina.
- Interviene en la regulación del pH al absorber bicarbonato y secretar protones (H^+) en el filtrado.

La concentración final de la orina, en esta sección, depende de la hormona vasopresina también conocida como hormona antidiurética (ADH por sus siglas en inglés). Si hay ADH presente, el túbulo distal y el conducto colector se hacen permeables al agua. Cuando el conducto colector pasa por la médula con alta concentración de soluto en el intersticio, el agua sale de la luz del conducto y se forma orina concentrada. En ausencia de ADH el túbulo es mínimamente permeable al agua, de modo que se forma un gran volumen de orina diluida.

Conductos colectores

El TCD drena entonces en los conductos colectores (figura 10-6). Varios conductos colectores convergen y drenan en un sistema más grande llamado los conductos papilares, los cuales a su vez drenan en el cáliz menor. De aquí el filtrado, ahora llamado orina, drena en la pelvis renal. Ésta es la fase final, en la que se reabsorben sodio y agua. Cuando una persona está deshidratada, alrededor del 25% del agua filtrada se reabsorbe en el conducto colector. Sin embargo, las células de los conductos colectores son impermeables al agua, pero con la ayuda de ADH y acuaporinas se reabsorbe agua de los conductos colectores. Las acuaporinas son proteínas embebidas en la membrana celular que regulan el flujo de agua. Transportan en forma selectiva moléculas de agua hacia dentro y fuera de la célula, al tiempo que impiden el paso de iones y otros solutos. La acuaporina 1 es abundante en el túbulo contorneado proximal y la rama delgada descendente del asa de Henle, y las acuaporinas 2, 3 y 4 se encuentran en los conductos colectores; sin embargo, la acuaporina 4 se haya de manera predominante en el cerebro.

Consideraciones clínicas

Pielonefritis crónica

La pielonefritis crónica se caracteriza por inflamación y fibrosis renales inducidas por infección renal recurrente o persistente, reflujo vesicoureteral u otras causas de obstrucción de las vías urinarias. La pielonefritis crónica causa cicatrización renal progresiva, que puede llevar a nefropatía terminal.

En la mayoría de los pacientes, el daño renal ocurre con lentitud durante un largo periodo en respuesta a un proceso inflamatorio o infeccioso crónico. El resultado es un adelgazamiento de la corteza renal, junto con cicatrización cortical gruesa segmentaria

profunda. Ocurre deformidad en forma de garrote de los cálices renales cuando una o más papilas se retraen en las cicatrices. Puede haber una o más cicatrices, en uno o ambos riñones.

Algunos de los análisis que se realizan incluyen:

- La tira reactiva para análisis de orina puede revelar leucocitos, hematuria o proteinuria y suele ser la prueba de elección para detectar enfermedad renal. Puede ser normal en la nefropatía crónica, por lo que debe realizarse junto con la prueba de creatinina sérica, que refleja la gravedad del deterioro renal.
- La biometría hemática completa puede indicar leucocitosis elevada o anemia normocítica normocrómica.
- A menudo se recomienda ecografía si se sospecha obstrucción renal pero no se confirma mediante tomografía computarizada. Una radiografía de riñón, uréter y vejiga es menos útil que la tomografía computarizada, pero es una prueba de referencia útil, y puede revelar calcificaciones radioopacas en las vías renales.
- Se realizan cultivos de orina para detectar infección de vías urinarias. Los cultivos de orina con frecuencia son positivos para *Proteus* (60%), o con menor frecuencia para *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Staphylococcus aureus* o microorganismos combinados.

La pielonefritis crónica causa insuficiencia renal. El paciente requerirá diálisis o trasplante renal. Debe recordarse que los cuadros recurrentes de pielonefritis aguda pueden ocasionar pielonefritis crónica.

Véase Knott (2013).

Funciones de los riñones

Los riñones mantienen el equilibrio hidroelectrolítico y ácido-base de la sangre.

- Eliminan desechos y exceso de agua (líquido) que la sangre recibe y lleva al fluir por el cuerpo. Unos 190 L de sangre entran en los riñones cada día por las arterias renales. Millones de diminutos filtros (llamados glomérulos) dentro de los riñones separan desechos y agua de la sangre. La mayoría de estas sustancias no deseadas provienen de lo que se come o bebe. Los riñones eliminan de manera automática la cantidad correcta de sal y otros minerales de la sangre para dejar sólo las cantidades que el cuerpo necesita.
- Al eliminar sólo la cantidad correcta de agua, los riñones sanos mantienen lo que se denomina el equilibrio hídrico del organismo. En las mujeres, el contenido de agua representa alrededor del 55% del peso total; en los varones, un 60% del peso total. Los riñones mantienen estas proporciones al balancear la cantidad de líquido que sale del cuerpo contra la cantidad que entra. Cuando se bebe un gran volumen de líquido, los riñones sanos eliminan el exceso y producen mucha orina. Por otra parte, si el ingreso de líquido es bajo, los riñones retienen agua y el paciente no orina mucho. Los líquidos también salen del cuerpo a través del sudor, aliento y heces. Si el tiempo es cálido y se pierde mucha agua al sudar, entonces los riñones no producen mucha orina.
- Los riñones sintetizan hormonas como la renina y la angiotensina. Estas hormonas regulan la cantidad de sodio (sal) y agua que el cuerpo conserva, y la expansión y contracción de los vasos sanguíneos. Esto, a su vez, ayuda a controlar la presión arterial.
- Los riñones producen una hormona llamada eritropoyetina, que es llevada por la sangre a la médula ósea, donde estimula la producción de eritrocitos. Estas células llevan oxígeno a todo el cuerpo. Sin suficientes eritrocitos sanos se produce anemia, un trastorno que causa debilidad, frío, cansancio y disnea entre otros síntomas.
- Los riñones sanos mantienen los huesos fuertes al producir la hormona calcitriol. El calcitriol conserva las concentraciones correctas de calcio y fosfato en sangre y huesos. El equilibrio de calcio y fosfato es importante para mantener los huesos sanos. Cuando los riñones fallan es posible que no produzcan suficiente calcitriol. Esto ocasiona valores anormales de fosfato, calcio y vitamina D, con el resultado de una osteopatía renal. Véase un resumen de las funciones del riñón en el cuadro 10-1.

Cuadro 10-1. Resumen de las funciones de los riñones

Regulación de electrolitos: ayudan a regular iones como el sodio, potasio, calcio, cloruro y fosfato

Regulación del pH sanguíneo: excretan iones hidrógeno a la orina y conservan iones bicarbonato, con lo que ayudan a regular el pH de la sangre

Regulación del volumen sanguíneo: al conservar o eliminar agua en la orina

Secreción de renina (regula la presión arterial) y eritropoyetina (producción de eritrocitos)

Producción de calcitriol para la regulación de las concentraciones de calcio

Ayudan a la regulación de los valores de glucosa sanguínea mediante la gluconeogénesis

Detoxificación de radicales libres y fármacos

Excreción de productos de desecho, como la urea, ácido úrico y creatinina

Manejo de medicamentos

Fármacos nefrotóxicos

El deterioro renal puede ser agudo o crónico; en ambos casos una consecuencia pueden ser problemas con los medicamentos. El deterioro renal se debe a diversas enfermedades renales o sistémicas, como la nefropatía diabética o el lupus eritematoso sistémico. El envejecimiento normal ocasiona declinación del funcionamiento renal por pérdida de nefronas. Por lo tanto, cuando se prescriben fármacos a un paciente añoso debe suponerse que tiene algún grado de deterioro renal.

Entre las causas de problemas con los medicamentos en caso de insuficiencia renal se incluyen:

- Incapacidad de excretar un fármaco o sus metabolitos.
- Muchos efectos secundarios son mal tolerados por los pacientes con insuficiencia renal.
- Algunos fármacos dejan de ser eficaces cuando el funcionamiento renal se encuentra disminuido.

El prescribir cualquier fármaco que aumente la concentración de potasio puede resultar muy peligroso; por ejemplo, los complementos de potasio y los diuréticos ahorradores de potasio. Otros productos que contienen potasio son los laxantes a base de corteza de zaragatona (*Plantago psyllium*). Los antiinflamatorios no esteroideos (AINE), aún a dosis pequeñas, pueden causar lesiones renales agudas en caso de haber riesgo renal deficiente. Los inhibidores de la enzima convertidora de la angiotensina (ECA) también pueden causar deterioro del funcionamiento renal.

Sin embargo, esto sólo es un problema en pacientes con riesgo renal deficiente, en particular en aquellos que tienen estenosis de arterias renales. Debe tenerse cuidado cuando se prescriben un inhibidor de la ECA y un AINE juntos, ya que esta combinación puede provocar deterioro agudo del funcionamiento renal.

Entre los fármacos que pueden causar nefritis intersticial se incluyen las penicilinas, cefalosporinas, sulfonamidas, diuréticos tiazídicos, furosemida, AINE y rifampicina.

Se debe de tener precaución cuando se administran medicamentos a pacientes con algún problema renal. Siempre debemos de cerciorarnos con un especialista que no haya alguna interacción medicamentosa, previo a la administración de cualquier fármaco.

Véase Rull (2013).

Caso clínico

Cistitis

Micaela Ramírez es una estudiante de tercer año de enfermería de 26 años de edad. Está casada con Juan, que estudia el mismo grado de enfermería en el mismo grupo. Viven en un departamento que alquilan. No tienen hijos, pero planean formar una familia al terminar su carrera. Micaela no toma píldoras anticonceptivas, sino que usa un dispositivo intrauterino.

Ella se despertó una mañana con dolor intenso de espalda baja, polaquiuria, urgencia urinaria y ardor al orinar. Observó que su orina era ligeramente turbia. Le mencionó a Juan que en la noche tuvo que levantarse dos veces a orinar, y sintió dolor al hacerlo. Juan decidió llamar a la universidad para informar que no irían a clases ya que llevaría a su esposa a ver al médico.

En el consultorio, la enfermera le tomó algunos signos vitales: temperatura 37.5 °C, pulso 95 latidos por minuto, presión arterial 115/58 mm Hg y frecuencia respiratoria de 23 latidos por minuto. Micaela menciona al médico que ha tenido estos episodios tres veces antes, pero los ha manejado sin antibióticos. Esta vez siente que debe orinar con frecuencia, tiene dificultad para comenzar a orinar y experimenta dolor quemante y cólicos durante la micción. La enfermera realiza una prueba de orina con tira reactiva, la cual revela la presencia de leucocitos, sangre, proteína y urea.

El médico indica a Micaela que se realice un examen de orina de chorro intermedio (OCI), le prescribe un tratamiento con antibióticos (trimetoprim, 200 mg cada 12 h durante 3 días) y le informa que cuando los resultados estén listos, si el antibiótico no es el adecuado lo cambiará.

Se dan a Micaela instrucciones de que beba mucho líquido y descanse algunos días. Una vez que los síntomas cedan podrá reanudar sus estudios. Los resultados de su examen de OCI revelan una infección por coliformes, y que el antibiótico que se le prescribió a Micaela es el adecuado.

Riego sanguíneo del riñón

La función del riñón es filtrar al menos 20 a 25% de la sangre durante el gasto cardiaco en reposo. Alrededor de 1 200 mL de sangre fluyen por el riñón cada minuto. Cada riñón recibe su suministro sanguíneo en forma directa de la aorta vía la arteria renal (figura 10-4), que se divide en las arterias renales anterior y posterior. Existen varias arterias que llevan sangre a los riñones:

- Arteria renal: surge de la aorta abdominal a nivel de la primera vértebra lumbar.
- Arteria segmentaria: rama de la arteria renal.
- Arteria interlobar: rama de la arteria segmentaria.
- Arteria arciforme: columnas renales que llevan a la unión corticomedular.
- Arterias interlobulares: divisiones de las arterias arciformes.

Consideraciones clínicas

Diálisis

La diálisis es el proceso de eliminar desechos (difusión) y exceso de agua (ultrafiltración) de la sangre de manera artificial. Algunos pacientes tienen insuficiencia o daño renales, por lo que sus riñones no funcionan de manera correcta, y requieren diálisis. Tal es el caso de los pacientes con lesión renal aguda (pérdida temporal del funcionamiento de los riñones) o de personas estables, pero con pérdida permanente del funcionamiento renal (nefropatía crónica de fase 5).

Los riñones de las personas sanas filtran unos 1 500 L de sangre al día. La vida no sería posible si los riñones no eliminaran los productos de desecho. Los pacientes cuyos riñones no funcionan en forma adecuada o no funcionan en absoluto experimentan la acumulación de desechos en su sangre. Sin diálisis, la cantidad de productos de desecho en la sangre aumentaría hasta alcanzar concentraciones que causarían coma y la muerte.

Hemodiálisis

La hemodiálisis es el tipo de diálisis más conocido. Implica la inserción de una aguja que se conecta mediante una manguera a un aparato de diálisis, y de ahí a un vaso sanguíneo. La sangre se transfiere del cuerpo al aparato, que filtra los productos de desecho y el exceso de agua. La sangre filtrada se devuelve entonces a la persona. La mayoría de los pacientes requieren tres sesiones a la semana, cada una de 4 h.

Diálisis peritoneal

La diálisis peritoneal es un tipo de diálisis menos conocido, aunque se está haciendo más común. En ella se usa en recubrimiento del abdomen (peritoneo) como filtro. Al igual que los riñones, el peritoneo contiene miles de diminutos vasos sanguíneos, lo cual lo hace un dispositivo de filtración útil.

Un pequeño tubo flexible llamado catéter se introduce por una incisión en el abdomen (figura 10-8). Un líquido especial denominado líquido de diálisis se introduce en el espacio que rodea el peritoneo (la cavidad peritoneal) mediante un equipo de administración que se deja durante varias horas mientras absorbe productos de desecho y exceso de agua de la sangre hacia el líquido de diálisis, que luego se extrae.

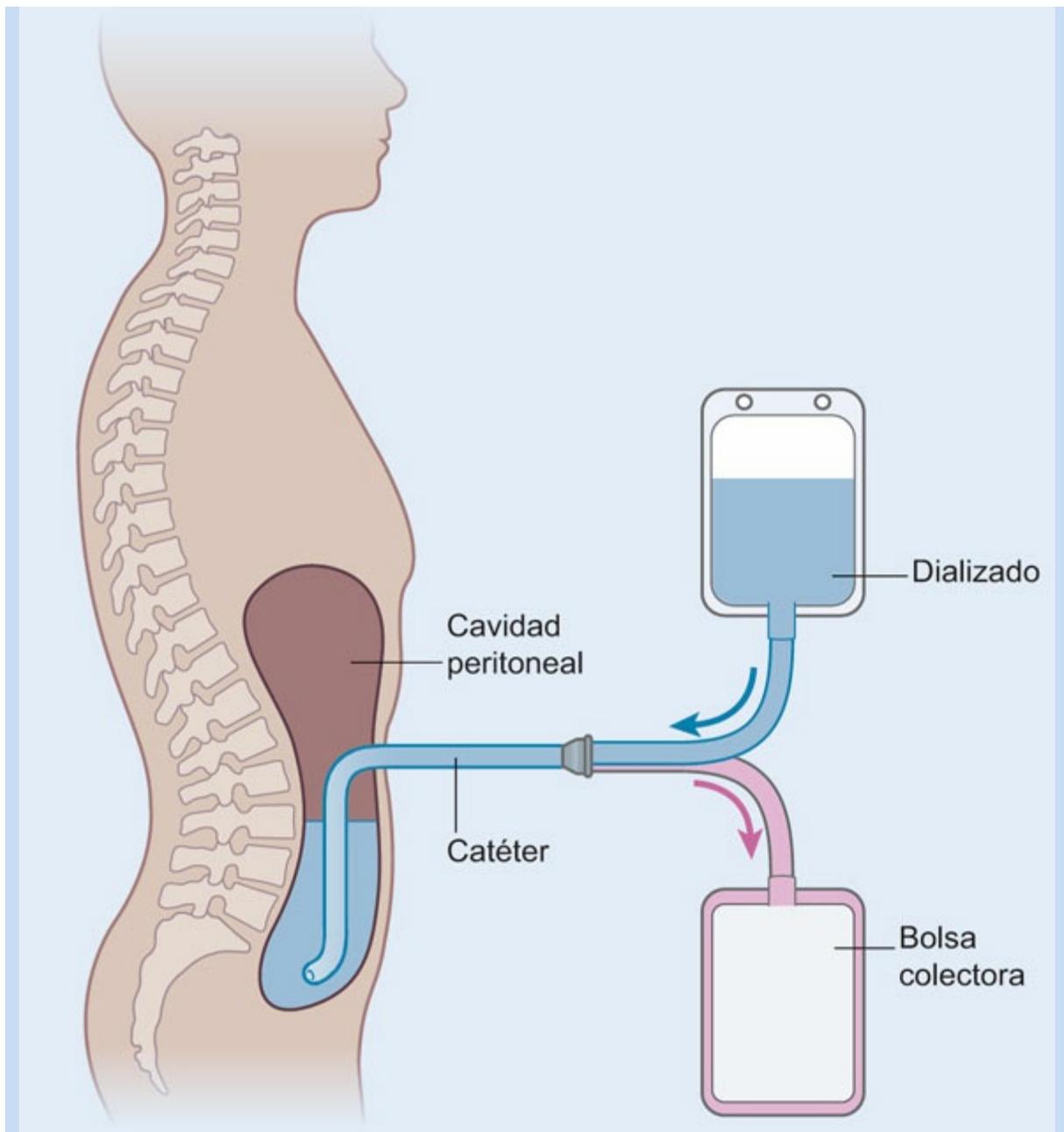


Figura 10-8. Diálisis peritoneal.

Véase NHS Choices (2015b).

Las ramas de la arteria interlobular entran en las nefronas como arteriolas aferentes. Cada nefrona recibe una arteriola aferente, que a su vez se subdivide en un penacho de capilares llamado glomérulo. Los capilares glomerulares vuelven a unirse y salen de la cápsula de Bowman como arteriolas eferentes. Las arteriolas eferentes se unen para formar capilares peritubulares y luego venas interlobulares que se unen formando las venas arciformes y al final las venas interlobares. La sangre sale de los riñones en la vena renal, que luego fluye hacia la vena cava inferior. El diámetro de la arteriola aferente es mayor que el de la arteriola eferente.

Formación de la orina

Tres procesos intervienen en la formación de la orina:

- Filtración.
- Reabsorción selectiva.
- Secreción.

Filtración

La formación de la orina inicia con el proceso de filtración, que ocurre en forma continua en los corpúsculos renales. La filtración se lleva a cabo en el glomérulo, situado en la cápsula de Bowman. La sangre por filtrar es provista por la arteria renal. En el riñón la arteria renal se divide en arteriolas más pequeñas. La arteriola que entra en la cápsula de Bowman es la arteriola aferente, que a su vez se subdivide en un racimo de capilares llamado glomérulo.

Cuando la sangre pasa por los glomérulos, gran parte de su líquido, que contiene tanto sustancias útiles como materiales de desecho disueltos, sale de la sangre a través de las membranas (por ósmosis y difusión), donde es filtrada, y luego fluye a la cápsula de Bowman. Este proceso recibe el nombre de filtración glomerular. Agua, productos de desecho, sal, glucosa y otras sustancias que se han filtrado de la sangre se conocen de manera colectiva como filtrado glomerular.

El líquido de la sangre filtrada se encuentra libre de proteínas, pero contiene electrólitos como el cloruro de sodio, potasio y productos de desecho del metabolismo celular, por ejemplo, urea, ácido úrico y creatinina (McCance *et al.*, 2010). La sangre filtrada regresa entonces a la circulación vía la arteriola eferente, y por último a la vena renal.

Reabsorción selectiva

Los procesos de reabsorción selectiva aseguran que cualesquiera sustancias en el filtrado que sean esenciales para el funcionamiento del organismo se reabsorban hacia el plasma. Sustancias como el sodio, calcio, potasio y cloruro son reabsorbidas para mantener el equilibrio hidroelectrolítico y el pH de la sangre. Sin embargo, si estas sustancias se encuentran en exceso respecto a las necesidades del organismo, se excretan por la orina. En realidad, sólo el 1% del filtrado glomerular sale del cuerpo; el 99% se reabsorbe hacia el torrente sanguíneo. La reabsorción ocurre por tres procesos:

- Ósmosis.
- Difusión.
- Transporte activo.

Véase un resumen en la cuadro 10-2.

Cuadro 10-2. Resumen de filtración, reabsorción y excreción en la nefrona y conductos colectores

| Reabsorción | Excreción |
|--|---|
| <i>Túbulo contorneado proximal</i> | |
| Agua, aproximadamente 65% Sodio y potasio, 65% Glucosa, 100% Aminoácidos, 100% Cloruro, aprox. 50% Bicarbonato, calcio y magnesio Urea | Iones hidrógeno Urea Creatinina Iones amonio |
| <i>Asa de Henle</i> | |
| Agua Sodio y potasio, aprox. 30% Cloruro, aprox. 35% Bicarbonato, aprox. 20% Calcio y magnesio | Urea |
| <i>Túbulo contorneado distal</i> | |
| Agua, aprox. 15% Sodio y cloruro, aprox. 5% Calcio Algo de urea | Potasio, depende de los valores séricos Iones hidrógeno, depende del pH de la sangre |
| <i>Conducto colector</i> | |
| Bicarbonato, depende de los valores séricos Urea Agua, aprox. 9% Sodio, aprox. 4% | Potasio, depende de los valores séricos Iones hidrógeno, depende del pH de la sangre |

Fuente: Adaptado de Tortora and Derrickson (2006).

La glucosa sanguínea es reabsorbida en su totalidad hacia la sangre desde los túbulos proximales. De hecho, es transportada en forma activa fuera de los túbulos hacia la sangre capilar peritubular. Nada de este valioso nutrimento se pierde en la orina. El sodio (Na⁺) y otros iones sólo se reabsorben de manera parcial desde los túbulos renales hacia la sangre. Sin embargo, la mayoría de los iones de sodio experimentan transporte activo de vuelta a la sangre desde el líquido tubular. La cantidad reabsorbida de sodio varía; depende en gran medida de cuánta sal se ingiera con los alimentos.

Cuando una persona eleva su ingesta de sal, los riñones reducen la reabsorción de sodio en la sangre. Es decir, se retiene más sodio en los túbulos. Por lo tanto, la cantidad de sal excretada en la orina aumenta. El proceso también funciona en sentido opuesto. A menor ingesta de sal, mayor reabsorción de sodio en la

sangre, y menor excreción de sal en la orina.

Excreción

Cualesquiera sustancias no eliminadas en la filtración se secretan en los túbulos renales desde los capilares peritubulares (figura 10-9) de la nefrona (Vaugh y Grant, 2014); esto incluye fármacos y iones hidrógeno. La secreción tubular ocurre sobre todo por transporte activo. El transporte activo es un proceso por el cual se desplazan sustancias de un lado a otro de las membranas biológicas. La secreción tubular ocurre desde las células epiteliales que recubren los túbulos renales y los conductos colectores. Entre las sustancias secretadas en el líquido tubular se incluyen:

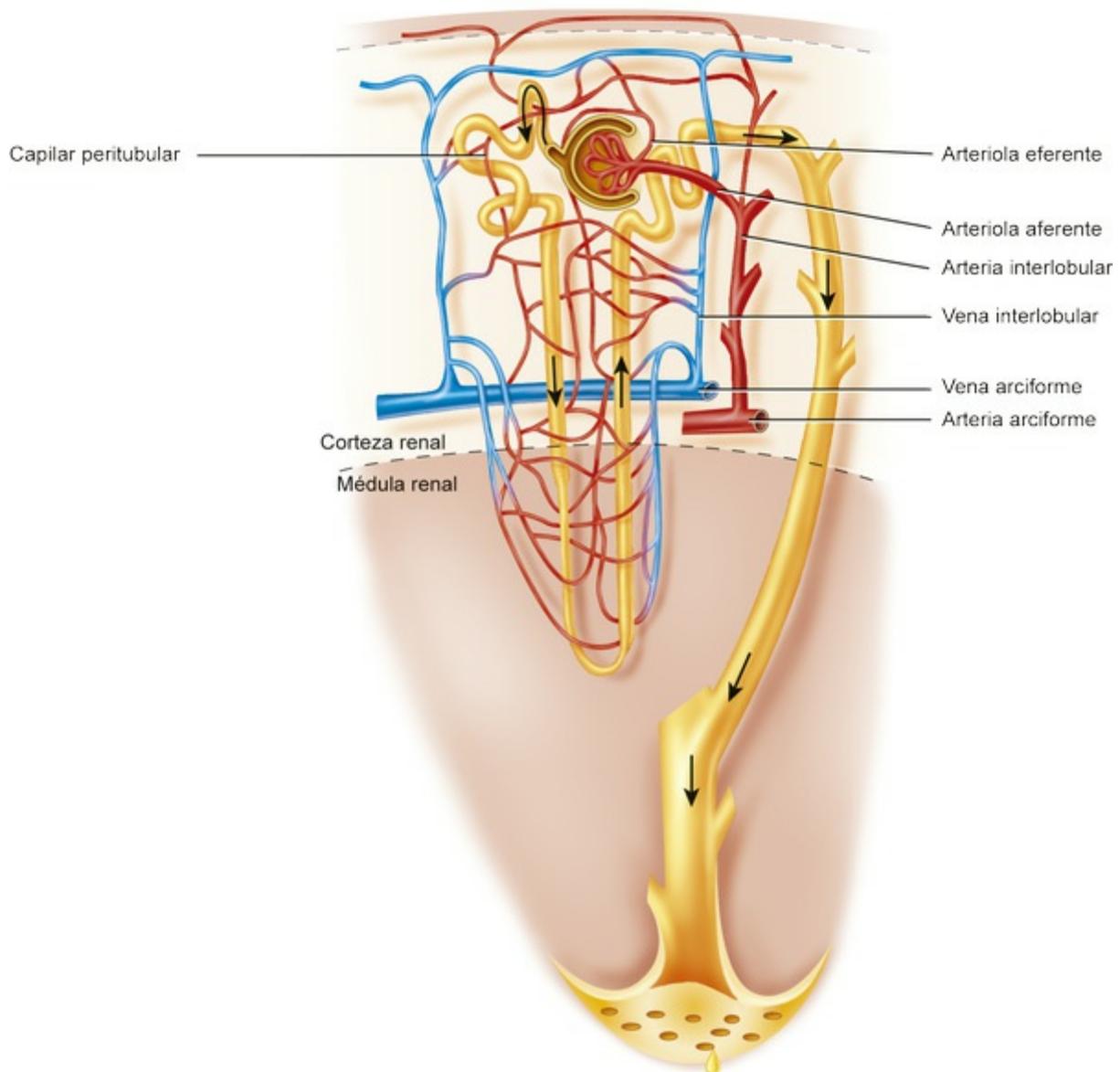


Figura 10-9. Nefrona con capilares. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Iones potasio (K^+).

- Iones hidrógeno (H^+).
- Iones amonio (NH_4^+).
- Creatinina.
- Urea.
- Algunas hormonas.

Es la secreción tubular de iones hidrógeno y amonio lo que ayuda a mantener el pH de la sangre. Véase un resumen en el cuadro 10-2.

Control hormonal de la reabsorción y secreción tubulares

Cuatro hormonas intervienen en la regulación de líquido y electrolitos:

- Angiotensina II.
- Aldosterona.
- ADH.
- Péptido natriurético auricular.

Angiotensina y aldosterona

Cuando el volumen sanguíneo y la presión arterial disminuyen, las células yuxtaglomerulares secretan una hormona llamada renina. Las células yuxtaglomerulares se encuentran cerca del glomérulo, y sintetizan, almacenan y secretan la hormona renina. La renina actúa en una proteína plasmática denominada angiotensinógena y la convierte en angiotensina I. El angiotensinógeno es producido por los hepatocitos. La angiotensina I es transportada por la sangre a los pulmones. En los capilares pulmonares hay enzima convertidora de angiotensina (ECA). La ECA se encuentra de manera predominante en los capilares pulmonares, pero también se le halla en el resto del cuerpo. La ECA convierte angiotensina I en angiotensina II. La angiotensina II es un potente vasoconstrictor de efecto breve, de modo que aumenta la presión arterial. La angiotensina II promueve la reabsorción de sodio, cloruro y agua en el túbulo contorneado proximal. También tiene un efecto sobre la liberación de aldosterona.

La aldosterona es una hormona esteroidea secretada por las glándulas suprarrenales. Es el principal regulador del equilibrio de sal y agua en el organismo, por lo que se le clasifica como un mineralocorticoide. También tiene un pequeño efecto sobre el metabolismo de grasas, carbohidratos y proteínas. Se sintetiza en el organismo a partir de corticosterona, un esteroide derivado del colesterol. La producción de aldosterona (de alrededor de 20 a 200 μg al día en el adulto) en la zona glomerular de la corteza suprarrenal es regulada por el sistema renina–angiotensina.

Vasopresina

La tercera hormona principal es la vasopresina o ADH (del inglés *antidiuretic hormone*), producida por el hipotálamo y almacenada por el lóbulo posterior de la hipófisis (neurohipófisis). Esta hormona incrementa la permeabilidad de las células en el TCD y los conductos colectores. En presencia de ADH, se reabsorbe más agua de los túbulos renales, por lo que el paciente producirá menos orina. En ausencia de ADH, menos agua se reabsorbe y el paciente producirá más orina. Así, la ADH tiene una función importante en la regulación del equilibrio hídrico del organismo.

La variable más importante que regula la secreción de ADH es la osmolaridad del plasma, o la concentración de solutos en la sangre. La osmolaridad es detectada en el hipotálamo por neuronas llamadas osmorreceptores, y esas neuronas a su vez estimulan la secreción desde las neuronas que producen ADH. Cuando la osmolaridad plasmática es menor de determinado valor umbral, los osmorreceptores no se activan y la secreción de ADH se suprime. Cuando la osmolaridad aumenta por encima de ese umbral, los osmorreceptores lo reconocen y estimulan las neuronas que secretan ADH.

Péptido natriurético auricular

La cuarta hormona implicada en la secreción y reabsorción tubulares es el péptido natriurético auricular (ANP por sus siglas en inglés). El ANP es un potente vasodilatador, y consiste de una proteína producida por los miocitos de las aurículas cardíacas en respuesta a un aumento de la presión arterial. El ANP estimula a los riñones para excretar sodio y agua desde los túbulos renales, con lo que reduce el volumen sanguíneo, lo que a su vez aminora la presión arterial. Esta hormona también inhibe la secreción de aldosterona y ADH.

El ANP participa en la regulación a largo plazo del equilibrio de sodio y agua, el volumen sanguíneo y la presión arterial. Hay dos principales mecanismos de acción del ANP: efectos vasodilatadores y efectos renales, que ocasionan natriuresis y diuresis. El ANP dilata las venas en forma directa (incrementa la distensibilidad venosa) y de este modo reduce la presión venosa central, lo que abate el gasto cardíaco al reducir la precarga ventricular. El ANP también dilata arterias, lo que aminora la resistencia vascular y la presión arterial sistémicas.

Manejo de medicamentos

Fármacos para la incontinencia

Hay dos tipos principales de incontinencia urinaria:

1. Incontinencia por presión: cuando la orina escapa porque hay presión adicional repentina dentro del abdomen y sobre la vejiga. Esta presión es causada por sucesos como la tos, risa, estornudo o la actividad física (p. ej., correr o saltar).
2. Incontinencia de urgencia: cuando la orina escapa antes de llegar al baño en caso de urgencia por orinar.

A las personas con incontinencia por presión puede prescribírselles duloxetina. Se piensa que ésta actúa interfiriendo con la acción de determinadas sustancias que intervienen en la

transmisión de impulsos nerviosos a los músculos. Esto ayuda a los músculos que rodean a la uretra a contraerse con fuerza. Se prescribe durante un mes, tras el cual se reevalúa al paciente. Si el problema mejora, el fármaco se suspende. Los efectos adversos más frecuentes son la náusea, sequedad bucal, fatiga y estreñimiento. Se recomienda al paciente no suspender de manera repentina el fármaco, porque ello puede provocar síntomas de supresión como mareo, náusea y cefalea.

Los fármacos llamados antimuscarínicos (o anticolinérgicos) se prescriben para tratar la incontinencia de urgencia. Hay varios tipos y marcas. Entre ellos se incluyen medicamentos antiguos como la oxibutinina, tolterodina y flavoxato, así como otros más nuevos como la darifenacina, fesoterodina, propiverina, solifenacina y trospio. Estos fármacos actúan bloqueando determinados impulsos nerviosos de la vejiga que relajan su musculatura, con lo que aumentan la capacidad vesical. Los antimuscarínicos se prescriben durante un mes, aproximadamente. Si resulta de utilidad, el tratamiento puede continuarse hasta por unos seis meses y luego suspenderse para ver si hay síntomas sin la medicación. El efecto secundario más común es la sequedad bucal, que puede contrarrestarse con sólo beber sorbos de agua con frecuencia. Otros efectos adversos comunes son la sequedad ocular, estreñimiento y visión borrosa.

Véase NHS Choices (2014b).

Composición de la orina

La orina es un líquido estéril claro constituido por desechos nitrogenados y sales. Es translúcida, con un tono ámbar o amarillo claro. Su color se debe a los pigmentos que resultan de la degradación de hemoglobina. La orina concentrada tiende a ser más oscura que la orina normal. Sin embargo, otros factores, como alimentación, fármacos y determinadas enfermedades, pueden afectar su color. Es ligeramente ácida, y su pH va de 4.5 a 8. El pH se ve afectado por la alimentación del individuo y su estado de salud. Una alimentación rica en proteína animal tiende a hacer la orina más ácida, mientras que una dieta vegetariana puede hacerla más alcalina. El volumen producido de orina depende del volumen circulante de sangre. La ADH regula la cantidad de orina producida por el individuo. Si la persona está deshidratada, se libera más ADH desde la neurohipófisis, con el resultado de reabsorción de agua y producción de menos orina. Por otra parte, si la persona ha consumido una gran cantidad de líquido, que incrementa el volumen circulante, se libera menos ADH y más agua pasa a la orina.

La orina es 96% agua y alrededor de 4% solutos derivados del metabolismo celular. Entre los solutos se incluyen productos de desecho orgánicos e inorgánicos y sustancias indeseables, como drogas. En condiciones de normalidad no contiene proteínas o sangre. Si éstas están presentes es posible que la persona tenga una enfermedad. En el cuadro 10-3 se presenta un resumen de los solutos urinarios.

Cuadro 10-3. Solutos en la orina

| Solutos inorgánicos | Solutos orgánicos |
|---------------------|-------------------|
| Sodio | Urea |
| Potasio | Creatinina |
| Calcio | Ácido úrico |
| Magnesio | |
| Hierro | |
| Cloruro | |
| Sulfato | |
| Fosfato | |
| Bicarbonato | |
| Amoniaco | |

Fuente: Adaptado de Mader (2005).

Características de la orina normal

El volumen producido es una de las características físicas de la orina. Otras son el color, turbidez (transparencia), olor, pH (acidez/alcalinidad) y densidad.

- **Color:** en forma típica es amarillo o ambar, pero varía con la alimentación reciente, fármacos y concentración de la orina. El consumo de más agua por lo general tiende a reducir la concentración de la orina, y por lo tanto hace que tenga un color más claro. Por otra parte, si una persona no bebe mucho líquido, la concentración puede aumentar y la orina tendrá un color más oscuro. Véanse en el cuadro 10-4 alimentos, fármacos y enfermedades que pueden afectar el color de la orina.

Cuadro 10-4. Colores de la orina

| Alimentos que cambian el color de la orina | |
|---|------------|
| <i>Éstos son algunos alimentos que podrían cambiar el color de la orina</i> | |
| Amarillo intenso o anaranjado | Zanahorias |
| Verde | Espárrago |
| | |

| | |
|--|---|
| Rosa o rojo | Betabel, zarzamora, ruibarbo |
| Pardo | Habas, ruibarbo |
| Medicamentos y vitaminas que podrían cambiar el color de la orina | |
| Amarillo o verde–amarillo | Cáscara sagrada, sulfasalazina, vitaminas del grupo B |
| Anaranjado | Rifampicina, sulfasalazina, vitamina B, vitamina C |
| Rosa o rojo | Fenoltaleína, propofol, rifampicina, laxantes que contienen sen |
| Verde o azul | Amitriptilina, cimetidina, indometacina, prometazina, propofol, triamtereno, varios multivitamínicos |
| Pardo o negro pardusco | Levodopa, metronidazol, nitrofurantoína, algunos antipalúdicos, metildopa, laxantes que contienen cáscara sagrada o sen |
| Afecciones que pueden cambiar el color de la orina | |
| Amarillo | Concentración de la orina por deshidratación |
| Anaranjado | Problemas de hígado o conductos biliares |
| Rosa o rojo | Sangre en la orina, hemoglobinuria (vinculada con anemia hemolítica), mioglobinuria (relacionada con la destrucción de células musculares) |
| Púrpura intenso | Porfiria, un trastorno hereditario raro de los eritrocitos |
| Verde o azul | La infección de vías urinarias puede tornar la orina verde si es causada por bacterias <i>Pseudomonas</i> ; la hipercalcemia familiar, un trastorno genético raro, puede tornar azul la orina |
| Pardo o pardo oscuro | Sangre en la orina, un problema de hígado o riñón |

Fuente: Mayo Clinic Staff (2015).

- **Olor:** en ocasiones el olor de la orina proporciona información sobre el estado de salud de la persona. Por ejemplo, la orina de los diabéticos puede tener un olor dulzón o afrutado debido a la presencia de cetonas (moléculas orgánicas con un grupo carbonilo unido aun átomo de oxígeno). Por lo general, la orina reciente tiene olor ligero, pero la orina rancia o infectada tiene un olor más fuerte, similar al del amoniaco.
- **Acidez:** el pH es una medida de la acidez (o alcalinidad) de una solución. El pH de una sustancia (solución) suele representarse como un número en el intervalo de 0 (ácido fuerte) a 14 (álcali –o base– fuerte). El agua pura es

“neutra”, en el sentido de que no es ácida ni alcalina; por lo tanto su pH es 7. El pH de la orina normal suele estar en el intervalo de 4.5 a 8, y un valor promedio típico es de alrededor de 6.0. Gran parte de la variación se debe a la alimentación. Por ejemplo, la ingesta abundante de proteínas da como resultado una orina más ácida, mientras que las dietas vegetarianas por lo general producen una orina más alcalina.

- **Peso específico:** el peso específico o densidad relativa es el cociente del peso de un volumen de una sustancia sobre el peso del mismo volumen de agua destilada. Dado que la orina es sobre todo agua, pero también contiene algunas otras sustancias disueltas, se espera que su densidad relativa sea cercana a 1.000, pero ligeramente mayor.

Caso clínico

La incontinencia urinaria de María

María González es una empleada municipal retirada de 78 años. Su marido falleció de cáncer prostático hace más de cinco años. María tiene una hija, que la visita todas las semanas para asegurarse de que esté bien. María insiste en que puede hacerse cargo de ella misma y rechaza cualquier ayuda de los servicios sociales. Su hija ha notado un fuerte olor a orina en la casa siempre que visita a su madre. Cuando su hija quiere que María salga con ella, María se rehúsa e incluso se torna muy agresiva.

Preocupada, la hija pide al médico de María que la visite en casa para ver si puede ayudarla. Durante esa visita, María admite que tiene un problema de incontinencia urinaria. Informa que se moja cuando tose o se ríe. Después de practicarle una valoración completa, el médico sugiere que debe ir a una clínica para recibir atención.

Después de una gran labor de convencimiento del médico y la hija, María acepta internarse.

Uréteres

Los uréteres son órganos tubulares que van de la pelvis renal a la base posterolateral de la vejiga urinaria. Los uréteres miden unos 25 a 30 cm de largo y 5 mm de diámetro (Mader, 2005). Los uréteres terminan en la vejiga y entran de manera oblicua por la pared muscular vesical. Pasan sobre el borde pélvico en la bifurcación de las arterias ilíacas comunes o primitivas (figura 10-10).

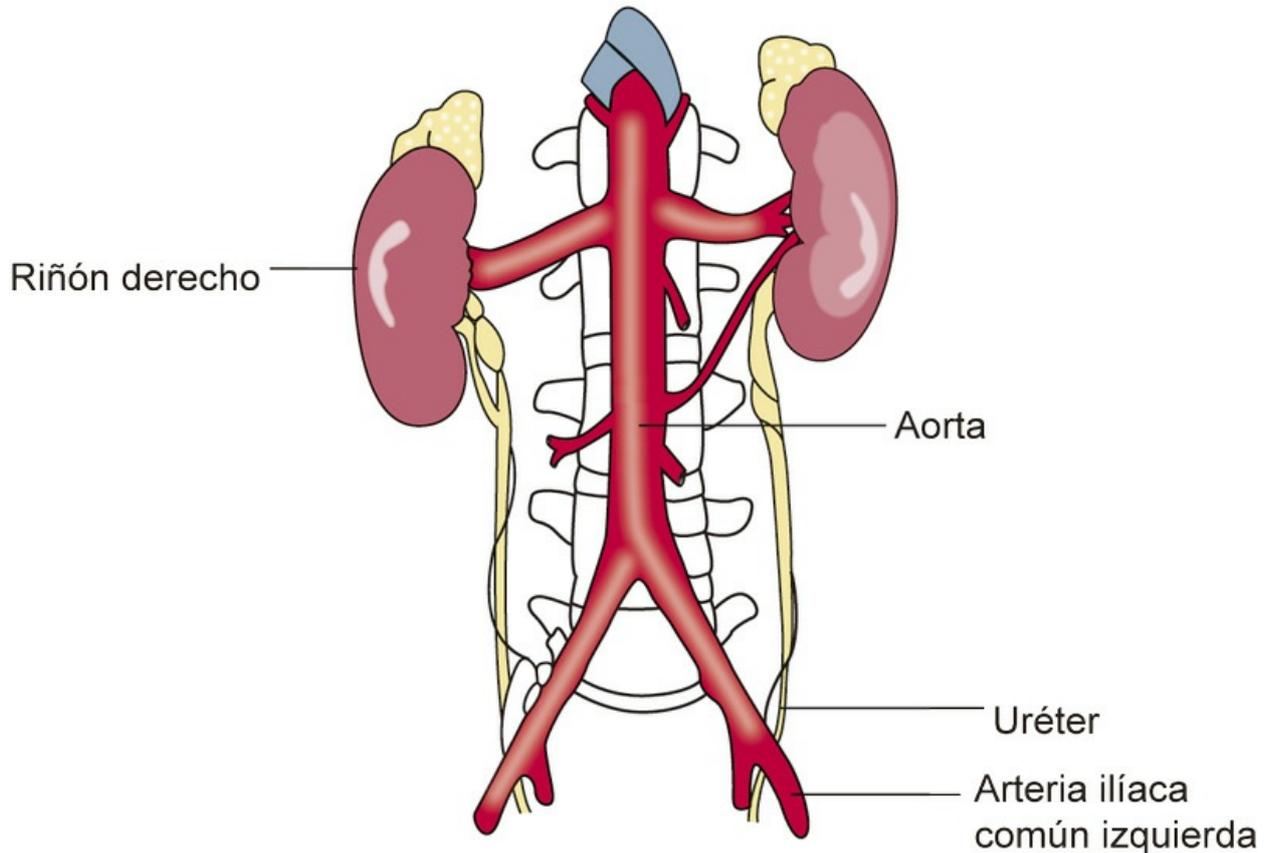


Figura 10-10. Vasos ilíacos comunes y uréter. *Fuente:* Nair y Peate (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los uréteres tienen tres capas:

- Mucosa de epitelio de transición (capa interna).
- Capa de músculo liso (capa intermedia).
- Tejido conjuntivo fibroso (capa externa).

La orina es transportada por los uréteres mediante movimientos musculares inducidos por ondas musculares peristálticas de las vías urinarias. Cuando la pelvis renal está llena de orina, la acción de las ondas peristálticas hace que ésta salga. La cantidad de orina en la pelvis renal determina la frecuencia de la acción de las ondas peristálticas, que va de una cada varios minutos a una cada pocos segundos. Esta acción crea una fuerza de presión que desplaza la orina por los uréteres y hacia la vejiga en pequeños chorros.

Vejiga urinaria

La vejiga urinaria es un órgano muscular hueco localizado en la cavidad pélvica, posterior a la sínfisis del pubis. En el varón la vejiga es anterior al recto, y en la mujer se ubica anterior a la vagina e inferior al útero (Mader, 2005); es un saco de músculo liso que almacena orina. Aunque en principio la forma de la vejiga es esférica, es modificada por la presión de los órganos circundantes. Cuando está vacía, su sección interna forma pliegues, pero cuando se llena de orina sus paredes se alisan. Cuando se acumula orina, la vejiga se expande sin un aumento significativo en la presión interna. En condiciones normales la vejiga se distiende y contiene unos 350 a 750 mL de orina. En la mujer la vejiga es un poco menor debido a que el útero ocupa el espacio supravescical.

El recubrimiento interno de la vejiga urinaria es una membrana mucosa de epitelio de transición que es continua con la de los uréteres. Cuando la vejiga está vacía, la mucosa tiene numerosos pliegues. Los pliegues y el epitelio de transición permiten a la vejiga expandirse cuando se llena. La segunda capa de las paredes es la submucosa, que soporta la membrana mucosa. Está formada por tejido conjuntivo con fibras elásticas.

El piso interno de la vejiga incluye una sección triangular llamada trígono. El trígono está formado por tres aberturas en el piso de la vejiga urinaria. Dos de las aberturas son de los uréteres y forman la base del trígono. Pequeños colgajos de mucosa cubren estas aberturas y actúan como válvulas que permiten la entrada de orina a la vejiga, pero impiden que regrese de aquí a los uréteres. La tercera abertura, en el vértice del trígono, es la que da a la uretra (figura 10-11). Una banda del músculo detrusor rodea esta abertura para formar el esfínter uretral interno.

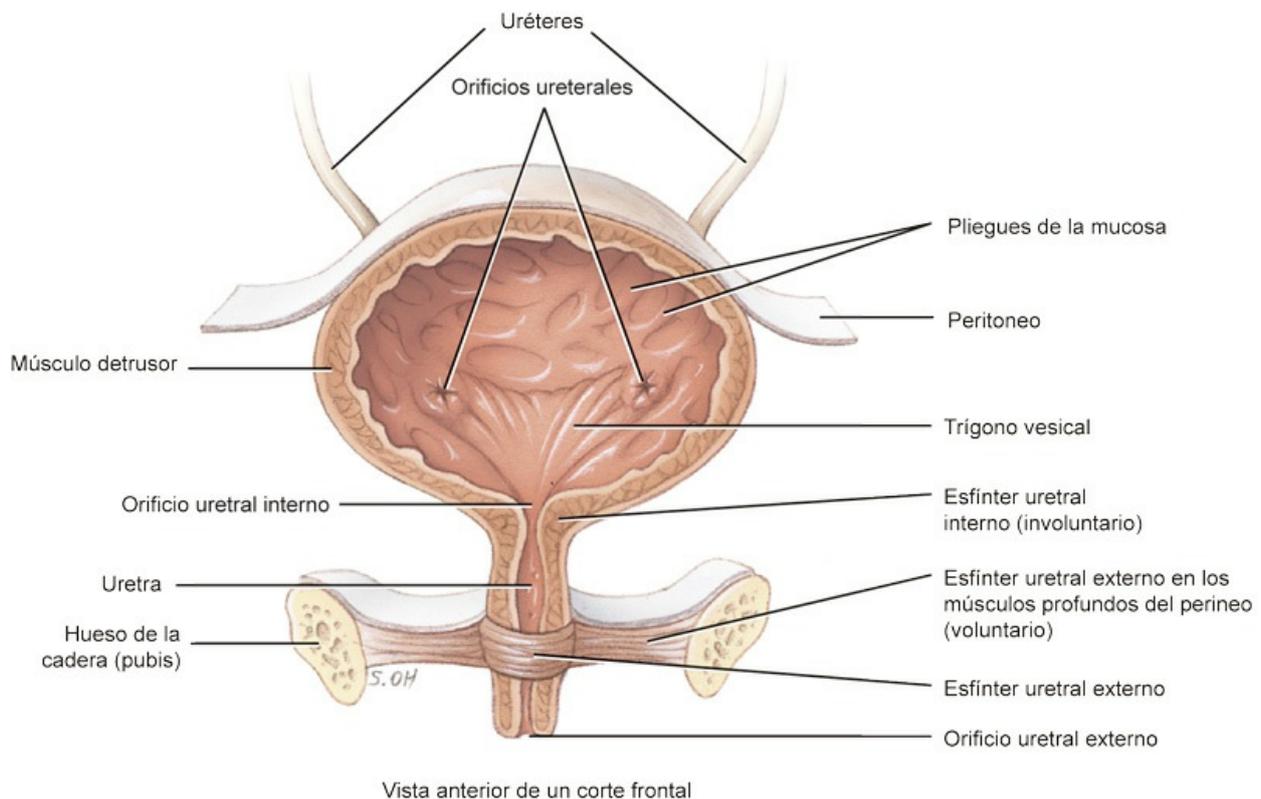


Figura 10-11. Capas de la vejiga urinaria. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Las paredes de la vejiga consisten de fibras musculares:

- Mucosa de epitelio de transición.
- Una capa muscular gruesa.
- Una capa externa fibrosa.

Las infecciones de vías urinarias y cistitis son más comunes en las mujeres. Si no se tratan, pueden ocasionar problemas renales más graves. Las infecciones de vías urinarias pueden evitarse asegurando un ingreso adecuado de líquidos y una higiene personal correcta.

Las vías urinarias pueden bloquearse u obstruirse (p. ej., con un cálculo renal, tumor, expansión del útero durante el embarazo o crecimiento de la próstata). La acumulación excesiva de orina puede causar infección y daño renal. Con un cálculo renal, el bloqueo a menudo es doloroso. Otras obstrucciones pueden ser asintomáticas y sólo detectarse cuando una prueba de sangre u orina arroja resultados anormales o cuando se realiza una visualización, por ejemplo, por rayos X o ultrasonido (ecografía).

Las infecciones de vías urinarias, como la cistitis (infección de la vejiga), pueden propagarse y empeorar. Entre los síntomas se incluyen fiebre, polaquiuria, necesidad súbita y urgente de orinar, y dolor o ardor al orinar. A menudo hay presión o dolor en parte baja del abdomen o espalda. A veces la orina tiene un olor fuerte o desagradable o contiene sangre. La pielonefritis es una infección del tejido renal; más a menudo, es resultado de cistitis que se ha

propagado al riñón. Una obstrucción en las vías urinarias hace más probable una infección renal. Las infecciones en otras partes del cuerpo, por ejemplo las infecciones estreptocócicas, el impétigo (infección cutánea) o una infección bacteriana del corazón, también pueden ser llevadas por el torrente sanguíneo a los riñones y causar problemas ahí.

Uretra

La uretra es un tubo muscular que drena la orina desde la vejiga y la lleva fuera del cuerpo. Tiene tres capas, a saber, muscular, eréctil y mucosa; la capa muscular es la continuación de la capa muscular de la vejiga. La uretra está constituida por dos músculos esfínteres uretrales separados. El músculo esfínter uretral interno está formado por músculos lisos involuntarios, mientras que músculos voluntarios inferiores constituyen el esfínter externo. El esfínter interno es creado por el músculo detrusor. La uretra es más larga en el varón. Los esfínteres la mantienen cerrada cuando no está pasando orina. El esfínter uretral interno está bajo control involuntario y se encuentra en la unión de la vejiga y la uretra. El esfínter uretral externo tiene un control voluntario.

Uretra masculina

La uretra masculina pasa por cuatro regiones distintas:

- Región prostática: pasa por la próstata.
- Porción membranosa: atraviesa el diafragma pélvico.
- Uretra bulbar: localizada dentro de perineo y escroto, se extiende desde el esfínter urinario distal externo hasta la unión de pene y escroto, y está rodeada por el cuerpo esponjoso. Contiene la abertura del conducto de las glándulas de Cowper, y difiere en longitud de un varón a otro.
- Región peneana: se extiende a lo largo del pene.

En el varón, la uretra no sólo excreta líquidos de desecho sino además es parte del aparato reproductor. En vez del tubo recto de la mujer, la uretra masculina tiene forma de S para seguir la línea del pene. Tiene unos 20 cm de largo. La uretra masculina puede dividirse en distintas porciones: la porción esponjosa, la porción prostática y la porción membranosa. La uretra esponjosa puede subdividirse en fosa navicular, uretra péndula y uretra bulbar. La porción proximal, que también es la porción prostática, mide sólo unos 2.5 cm de largo y pasa por el cuello de la vejiga urinaria hasta la próstata. Esta sección acepta el drenaje de los diminutos conductos del interior de la próstata y está equipada con dos conductos eyaculadores (figura 10-12).

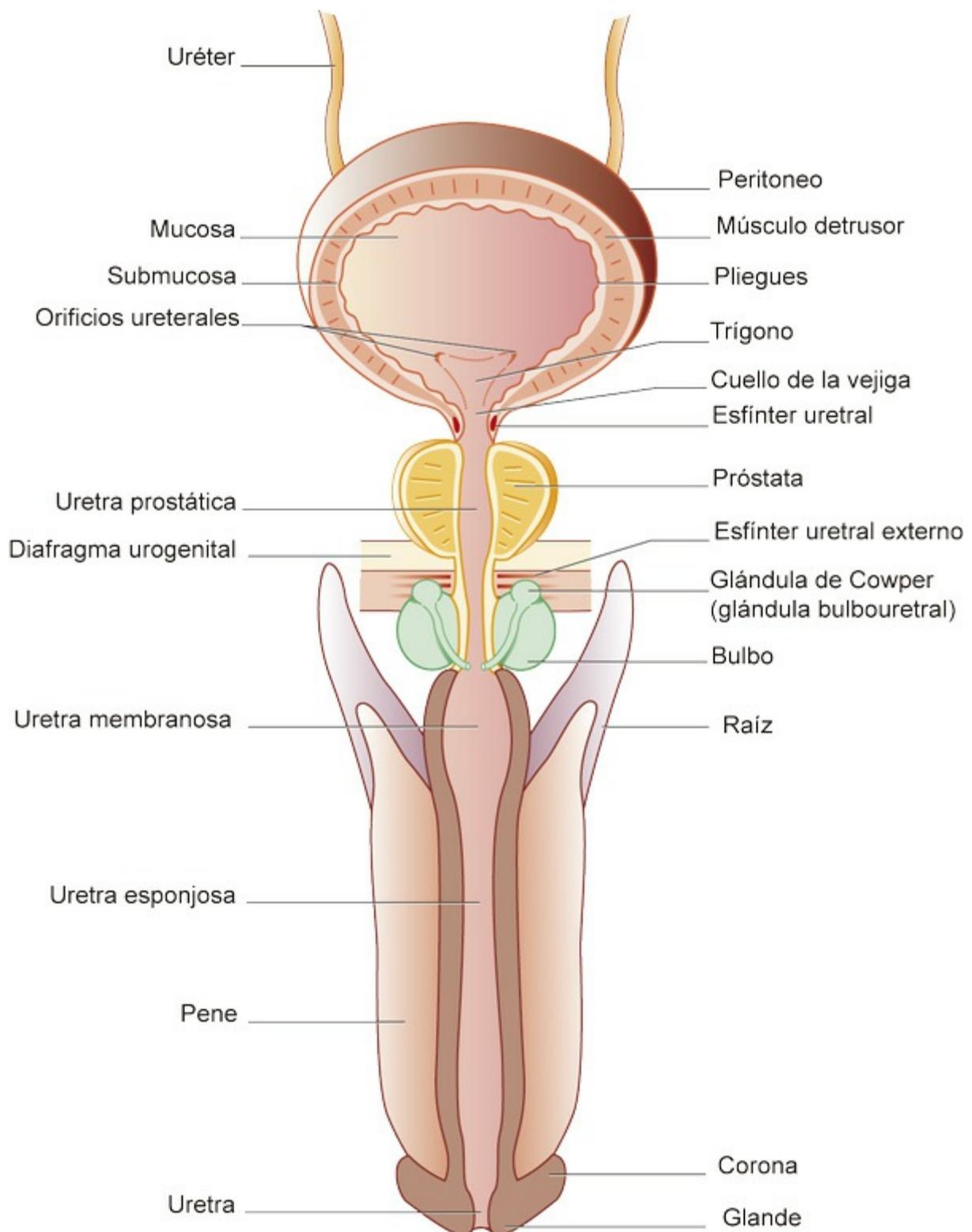


Figura 10-12. Uretra masculina.

Uretra femenina

La uretra femenina está unida a la pared vaginal anterior. La abertura externa de la uretra es anterior a la vagina y posterior al clítoris. En la mujer, la uretra tiene unos 4 cm de largo y desemboca fuera del cuerpo a través del orificio uretral. En la mujer, el orificio uretral se localiza en el vestíbulo, en los labios menores. Puede encontrarse entre el clítoris y el orificio vaginal. En el cuerpo femenino la

única función de la uretra es transportar orina fuera del cuerpo (figura 10-13).

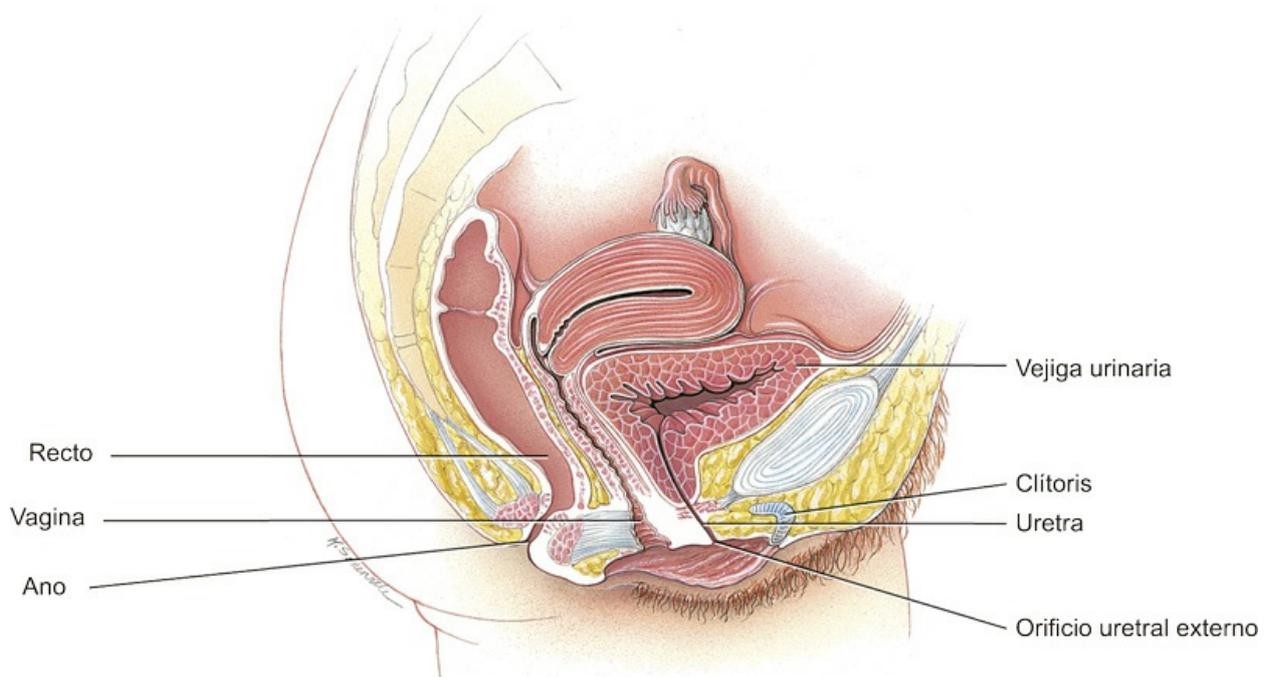


Figura 10-13. Localización de la uretra femenina. *Fuente:* Nair y Peate (2013).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Micción

Cuando el volumen de orina en la vejiga llega a unos 300 mL, los receptores de estiramiento en las paredes vesicales son estimulados y excitan fibras parasimpáticas sensitivas que envían información a la zona sacra de la columna vertebral. Esta información es integrada aquí y reenviada a dos grupos distintos de neuronas. Se excitan neuronas motoras parasimpáticas (en el puente de Varolio) que actúan para contraer los músculos detrusores de la vejiga, de modo que la presión en ésta aumenta y el esfínter interno se abre. Al mismo tiempo, se inhiben neuronas motoras somáticas que inervan el esfínter externo vía el nervio pudendo, lo cual permite que este esfínter se abra y la orina salga, con ayuda de la gravedad.

Una persona sana tiene un gran control de la vejiga. Puede aumentar o disminuir la velocidad de flujo (gasto) de la orina, e iniciar o suspender el flujo a voluntad (a menos que haya problemas fisiológicos), lo cual hace de la micción una simple acción refleja.

Conclusión

El aparato urinario consiste de riñones, uréteres, vejiga urinaria y uretra. Estos aparatos de manera colectiva tienen una importante función para mantener la homeostasis. Eliminan los productos de desecho del metabolismo, secretan hormonas, regulan el equilibrio hídrico y mantienen la homeostasis. Algunas de las funciones que realizan son:

- Regulación del volumen sanguíneo mediante la producción de orina y de la presión arterial al liberar renina.
- Regulación del equilibrio electrolítico en el cuerpo por medio de hormonas como la aldosterona.
- Mantenimiento del equilibrio ácido-base al regular la secreción de iones hidrógeno y bicarbonato.
- Excreción de productos de desecho (p. ej., urea y ácido úrico) y conservación de valiosos nutrimentos esenciales para el organismo.

La orina se forma por filtración, reabsorción selectiva y secreción. La selectividad del filtrado glomerular es determinada por el tamaño de la abertura del filtro y la presión arterial. Hay otros factores que regulan la producción de orina y el equilibrio electrolítico; entre ellos se incluyen la regulación por hormonas como la ADH, aldosterona y ANP, y regulación neuronal a través del sistema nervioso autónomo.

La vejiga urinaria es un órgano de almacenamiento de orina y se localiza en la cavidad pélvica. Tiene tres capas: muscular, eréctil y mucosa. La orina se almacena en la vejiga hasta que la persona siente la urgencia de vaciarla. El proceso de micción está bajo el control de los sistemas simpático y parasimpático. Durante la micción, los fuertes músculos de las paredes vesicales (los músculos detrusores) comprimen la vejiga, empujando su contenido hacia la uretra, con lo que se expulsa la orina.

Glosario

Anterior. Frontal o ventral.

Arteria renal. Vaso sanguíneo que lleva sangre al riñón.

Bifurcación. División en dos ramas.

Cálices. Pequeñas cavidades en forma de embudo formadas a partir de la pelvis renal.

Corteza renal. Parte más externa del riñón.

Diuresis. Producción de orina.

Eritropoyetina. Hormona sintetizada por los riñones que regula la producción de eritrocitos.

Esfínter. Fibra muscular anular capaz de constreñirse.

Excreción. Eliminación de productos de desecho del metabolismo.

Filtración. Sistema de transporte pasivo.

Glomérulo. Red de capilares presente en la cápsula de Bowman.

Hilio. Indentación cerca del centro de la zona cóncava del riñón, donde sus vasos, nervios y uréter entran o salen.

Médula renal. Capa intermedia del riñón.

Nefrona. Unidad funcional del riñón.

Pelvis renal. Sección en forma de embudo del riñón.

Pirámides renales. Estructuras cónicas de la médula.

Posterior. Situado atrás.

Renina. Hormona renal que modifica la presión arterial sistémica.

Riñones. Órganos situados en la pared posterior de la cavidad abdominal.

Uréter. Tubo membranoso que drena orina de los riñones a la vejiga.

Uretra. Tubo muscular que drena orina desde la vejiga.

Vena renal. Vaso sanguíneo que devuelve sangre filtrada a la circulación.

Bibliografía

- Knott, L. (2013) *Pyelonephritis*. <http://www.patient.co.uk/doctor/pyelonephritis> (accessed 26 November 2015).
- Mader, S.S. (2005) *Understanding Human Anatomy and Physiology*, 5th edn. Boston, MA: McGraw-Hill.
- Marieb, E.N. and Hoehn, K. (2013) *Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. San Francisco: Pearson Benjamin Cummings.
- McCance, K.L. Huether, S.E., Brashers, V.L. and Rote, N.S. (2010) *Pathophysiology: The Biological Basis for Disease in Adults and Children*, 6th edn. St Louis, MO: Mosby.
- Mayo Clinic Staff (2015) *Urine Color*. <http://www.mayoclinic.org/diseases-conditions/urine-color/basics/causes/con-20032831> (accessed 26 November 2015).
- Nair, M. and Peate, I. (2009) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nair, M. and Peate, I. (2013) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing and Healthcare Students*, 2nd edn. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- NHS Choices (2014a) *Kidney Stones – Treatment*. <http://www.nhs.uk/Conditions/Kidney-stones/Pages/Treatment.aspx> (accessed 26 November 2015).
- NHS Choices (2014b) *Urinary Incontinence – Non-Surgical Treatment*. <http://www.nhs.uk/Conditions/Incontinence-urinary/Pages/Treatment.aspx> (accessed 26 November 2015).
- NHS Choices (2015a) *Kidney Transplant*. <http://www.nhs.uk/conditions/Kidney-transplant/Pages/Introduction.aspx> (accessed 26 November 2015).
- NHS Choices (2015b) *Dialysis*. <http://www.nhs.uk/Conditions/dialysis/Pages/Introduction.aspx> (accessed 26 November 2015).
- Rull, G. (2013) *Drug Prescribing in Renal Impairment*. <http://www.patient.co.uk/doctor/drug-prescribingin-renal-impairment> (accessed 26 November 2015).
- RxList (2012) *Sandimmune Patient Information Including If I Miss a Dose*. <http://www.rxlist.com/sandimmunedrug/patient-avoid-while-taking.htm> (accessed 26 November 2015).
- Tortora, G.J. and Derrickson, B. (2006) *Principles of Anatomy and Physiology*, 11th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Wahlgren, A. and Grant, A. (eds) (2014) *Ross and Wilson Anatomy and Physiology in Health and Illness*. Edinburgh: Churchill Livingstone.

Lecturas adicionales

National Institute for Health and Care Excellence

<http://www.nice.org.uk/guidance/cg73> (accessed 26 November 2015)

Guía para la identificación temprana y el manejo de la nefropatía crónica en adultos en los niveles primario y secundario de atención.

<http://guidance.nice.org.uk/QS5> (accessed 26 November 2015)

Esta norma de calidad del NICE define la mejor práctica clínica en esta área.

Presenta enunciados, medidas y descriptores de audiencia de calidad concisos y específicos a fin de que los pacientes, el público, los profesionales de la salud y sociales, los comisionarios y los prestadores de servicios dispongan de definiciones de atención de alta calidad.

Cancer Research UK

<http://www.cancerresearchuk.org/cancer-help/type/kidney-cancer/> (accessed 26 November 2015)

Página útil para obtener información sobre el cáncer. Incluye síntomas, causas y pruebas para diagnosticar cáncer, así como información sobre tratamientos (incluida cirugía) e investigación actual.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. La orina fluye por la siguiente vía:
 - (a) Pelvis renal → uretra → uréter → vejiga.
 - (b) Vejiga → pelvis renal → uréter → uretra.
 - (c) Pelvis renal → uréter → vejiga → uretra.
 - (d) Uréter → pelvis renal → uretra → vejiga.
2. ¿Cuál de las siguientes estructuras se encuentra en la médula renal?
 - (a) Glomérulo.
 - (b) Cápsula de Bowman.
 - (c) Asa de Henle.
 - (d) Túbulo contorneado proximal.
3. Los riñones producen renina cuando:
 - (a) La presión arterial es baja.
 - (b) La presión arterial es alta.
 - (c) El pH de la sangre es bajo.
 - (d) El pH de la sangre es alto.
4. ¿Cuál es el nombre de la glándula situada arriba de los riñones?
 - (a) Páncreas.
 - (b) Hígado.
 - (c) Hipotálamo.
 - (d) Suprarrenal.
5. La vejiga urinaria está formada por:
 - (a) Epitelio de transición.
 - (b) Músculo esquelético.
 - (c) Músculo cardíaco.
 - (d) Epitelio pavimentoso simple.
6. Un paciente con infección de vías urinarias puede presentar :
 - (a) Orina clara.
 - (b) Leucocitos en la orina.
 - (c) Glucosuria.
 - (d) Cetonas.
7. El peso específico de la orina está en el intervalo de:
 - (a) 1.001 a 1.073
 - (b) 1.020 a 1.025
 - (c) 1.000 a 1.078
 - (d) 1.001 a 1.035
8. El color amarillo claro de la orina se debe a:
 - (a) Los pigmentos que resultan de la degradación de la hemoglobina.
 - (b) La degradación de leucocitos.
 - (c) La ingestión de un exceso de zanahorias.
 - (d) La presencia de grasa en la orina.
9. La glucosa sanguínea se reabsorbe por completo en:
 - (a) Glomérulo.

- (b) Túbulo contorneado distal.
 - (c) Túbulo contorneado proximal.
 - (d) Conductos colectores.
10. Los cálculos renales pueden producirse como resultado de:
- (a) Sarcoma de los huesos.
 - (b) Consumo excesivo de agua.
 - (c) Consumo excesivo de zanahorias.
 - (d) Consumo excesivo de espinacas.

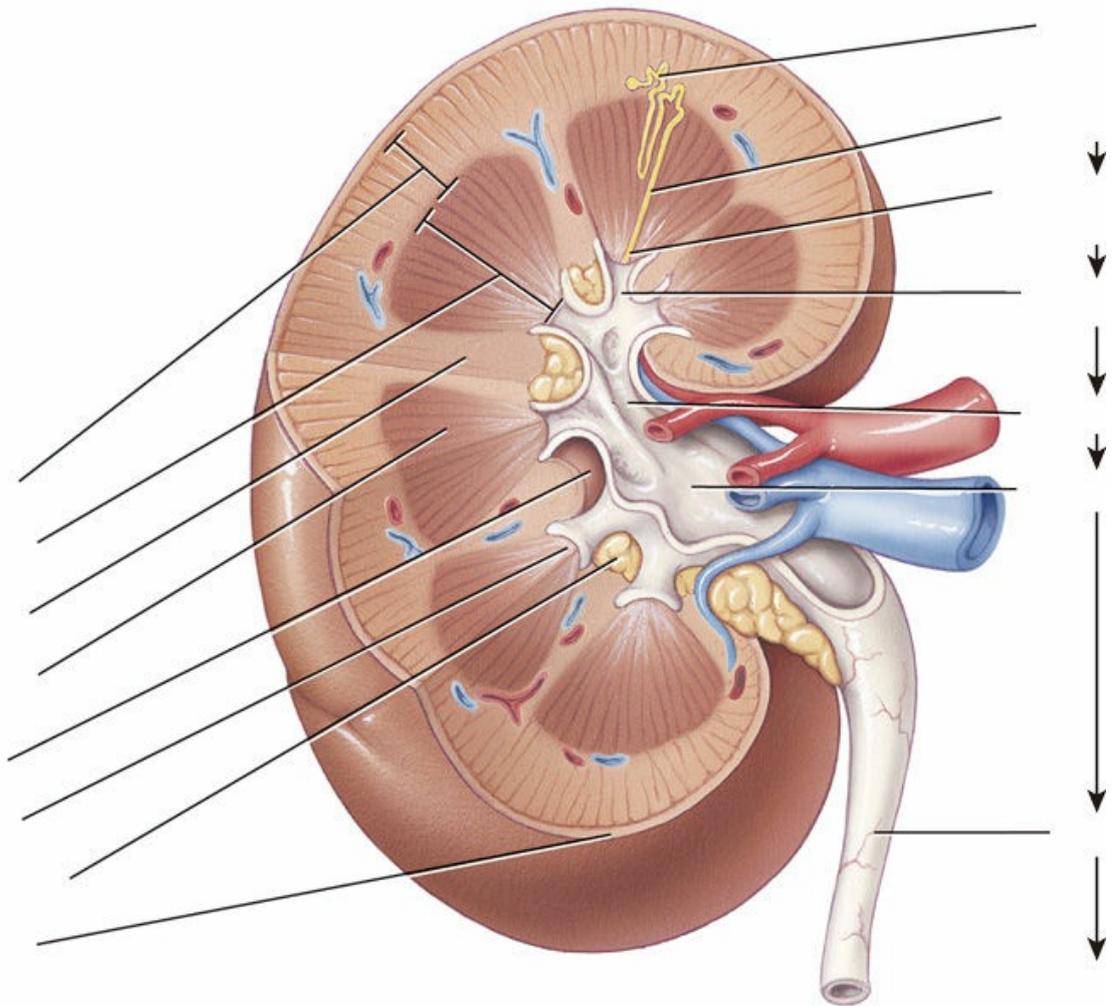
Falso o verdadero

1. La urea es el producto final del metabolismo del nitrógeno.
2. La energía para la filtración de líquido en los glomérulos es generada por el corazón.
3. La depuración de inulina se usa para estimar el flujo plasmático renal.
4. La creatinina es un producto endógeno.
5. La cápsula de Bowman consiste en células endoteliales.
6. El flujo de orina por el uréter ocurre por peristaltismo.
7. La concentración de la orina se realiza en la vejiga.
8. El músculo de la pared vesical es estriado.
9. Hay eritrocitos en el filtrado glomerular.
10. La secreción tubular renal ocurre en los glomérulos.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

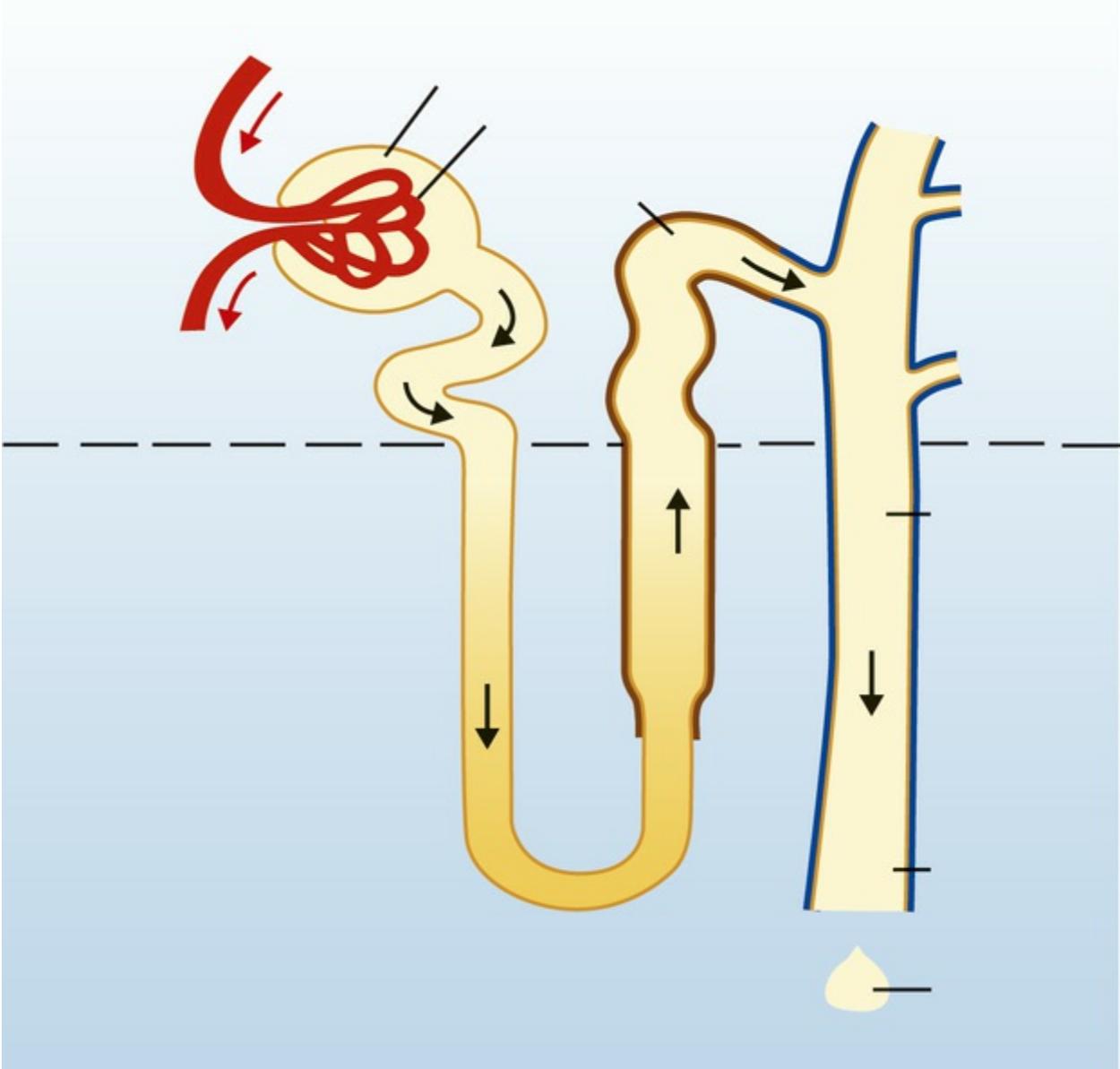
Corteza renal, Médula renal, Columna renal, Pirámide renal en la médula renal, Seno renal, Papila renal, Grasa en el seno renal, Cápsula renal, Nefrona, Trayecto del drenaje de orina: Conducto colector, Conducto papilar en la pirámide renal, Cáliz menor, Cáliz mayor, Pelvis renal, Uréter, Arteria renal, Vena renal, Vejiga urinaria



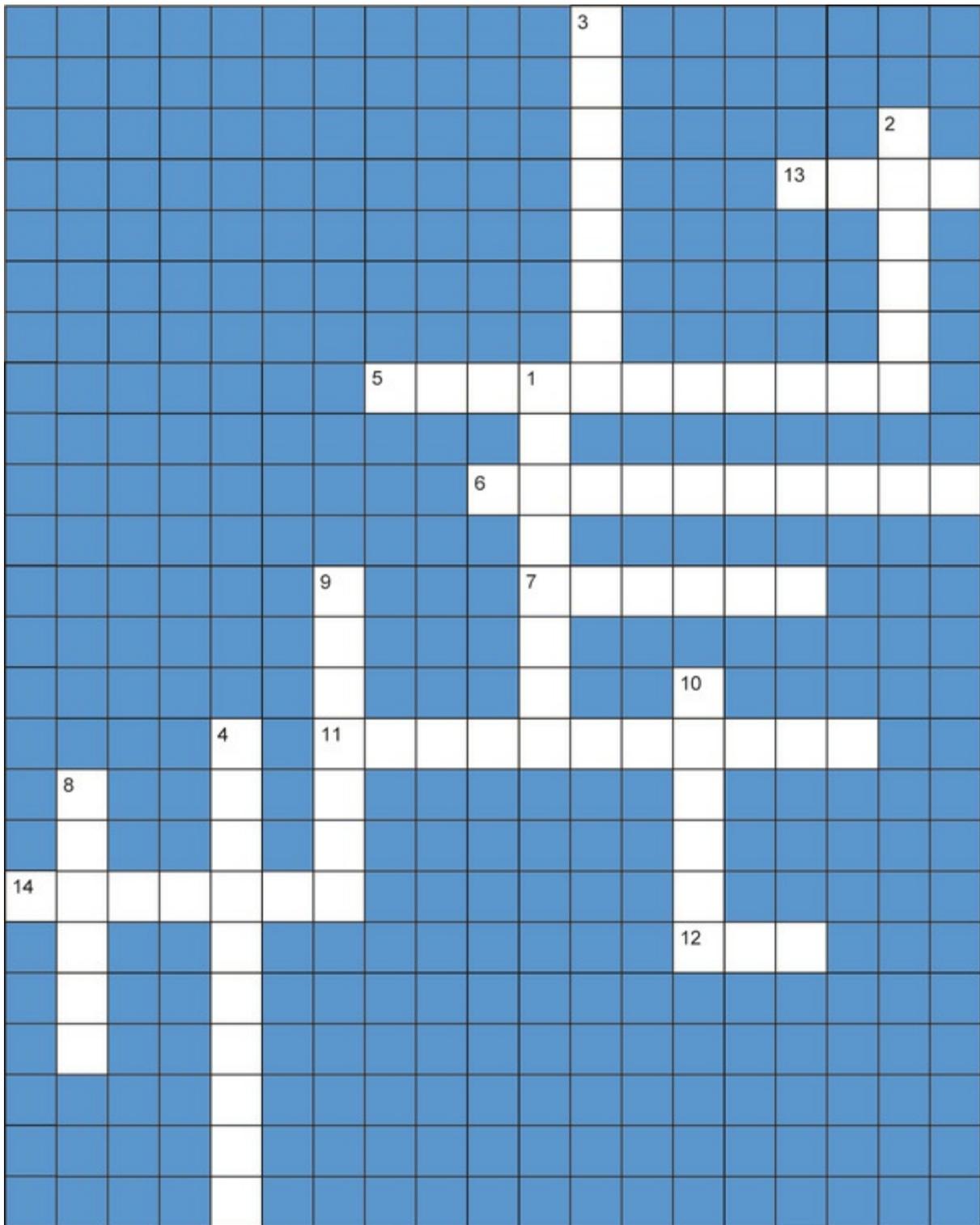
Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Arteriola aferente, Arteriola eferente, Túbulo contorneado proximal, Cápsula glomerular (de Bowman), Glomérulo, Túbulo contorneado distal, Líquido intersticial en la corteza renal, Conducto colector, Líquido intersticial en la médula renal, Conducto papilar, Orina diluida, Asa de Henle



Crucigrama



Horizontales:

- 5. Hormona que regula el equilibrio electrolítico (11).
- 6. Una de las funciones del riñón (10).
- 7. También conduce el semen en el varón (6).
- 11. Glándula situada arriba de cada riñón (11).
- 12. Hormona que regula el equilibrio hídrico (3).
- 13. Uno de los productos de desecho presentes en la orina (4).
- 14. Unidad funcional del riñón (7).

Verticales:

1. Producción escasa de orina (8).
2. Hormona producida por las células yuxttaglomerulares (6).
3. Inflamación de la vejiga (8).
4. Estudio invasivo de la vejiga (11).
8. Lleva orina del riñón a la vejiga (6).
9. Capa protectora más externa del riñón (7).
10. Órgano de almacenamiento de orina (6).

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| R | G | N | F | U | L | A | M | I | X | O | R | P | O | E |
| E | A | L | U | R | E | T | E | R | N | K | O | I | U | J |
| N | O | N | O | I | C | A | R | T | L | I | F | N | R | X |
| A | R | R | O | M | Y | U | I | Z | Q | J | N | U | C | G |
| L | I | E | O | R | E | Y | R | Z | A | B | L | L | R | C |
| S | Ñ | I | N | V | E | R | R | E | L | E | W | I | E | I |
| E | O | Y | Y | I | P | T | U | K | T | C | F | N | A | S |
| C | N | Z | V | K | N | G | S | L | C | R | W | A | T | T |
| R | I | I | L | U | R | A | M | O | O | G | A | I | I | I |
| E | D | I | O | G | B | L | A | D | D | S | R | A | N | T |
| C | N | E | F | R | O | N | A | J | T | L | G | T | I | I |
| I | E | I | N | F | E | C | C | I | O | N | A | R | N | S |
| O | Y | T | U | B | U | L | O | M | S | T | A | F | A | L |
| N | L | A | T | S | I | D | G | A | G | I | J | E | V | D |
| D | M | A | I | R | U | T | A | M | E | H | H | T | Q | N |

Renal, Glomérulos, Túbulo, Riñón, Vejiga, Creatinina, Secreción, Uretra, Uréter, Renina, Aldosterona, Filtración, Inulina, Proximal, Distal, Nefrona, Hematuria, Cistitis, Infección

Llene los espacios

Los _____, _____, _____ y _____ constituyen el aparato urinario. Los riñones _____ la _____ para eliminar los desechos y _____ del organismo y formar la _____. Ésta viaja a la _____ por los _____. La vejiga urinaria _____ la orina hasta _____.

que es expulsada del cuerpo vía la uretra.

Dentro de los riñones hay alrededor de un _____ de pequeñas unidades de filtración llamadas _____. La sangre fluye por _____ y redes intrincadas de _____ dentro de los riñones hasta los glomérulos a fin de someterse al _____.

La función de los _____ consiste, entre otras cosas, de eliminar los _____ que resultan del _____. Uno de los principales _____ del metabolismo de _____ (músculo) es _____. Los riñones eliminan los productos de desecho al extraerlos de la sangre y enviarlos por el _____ a la _____, desde donde se les _____ en la _____. Si el funcionamiento renal _____, los productos de desecho se _____ en la _____ y el cuerpo. El término para esta acumulación es _____.

acumulan, hiperazoemia, vejiga, sangre, vasos sanguíneos, subproductos, exceso de agua, excreta, falla, filtran, proceso de filtración, glomérulos, riñones, riñones, metabolismo, millón, proteínas, almacena, tubos diminutos, urea, uretra, uretra, uréteres, uréteres, uréteres, vejiga urinaria, vejiga urinaria, orina, orina, productos de desecho

Para profundizar

1. Describa la función del riñón en el mantenimiento de la homeostasis.
2. Comente el sistema renina–angiotensina.
3. ¿Qué entiende por dopaje de eritropoyetina?
4. Describa las funciones de la aldosterona II.
5. Explique la tasa de filtración glomerular.
6. Explique la función de los riñones en una persona que sufre insuficiencia cardiaca congestiva.
7. Explique los efectos de la hipertensión arterial en un paciente que se encuentra en reposo en cama.
8. A una persona con nefropatía se le diagnostica proteinuria. Tiene las extremidades hinchadas. Explique la proteinuria y por qué causa hinchazón de las extremidades en esta persona.
9. Comente la función del sistema nervioso autónomo en la micción.
10. Explique el término contracorriente en el asa de Henle.

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con el aparato urinario. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Síndrome nefrótico

Glomerulonefritis

Nefropatía terminal

Nefropatía poliquística

Hidronefrosis



Capítulo 11

Aparato respiratorio

Anthony Wheeldon

Ponga a prueba sus conocimientos previos

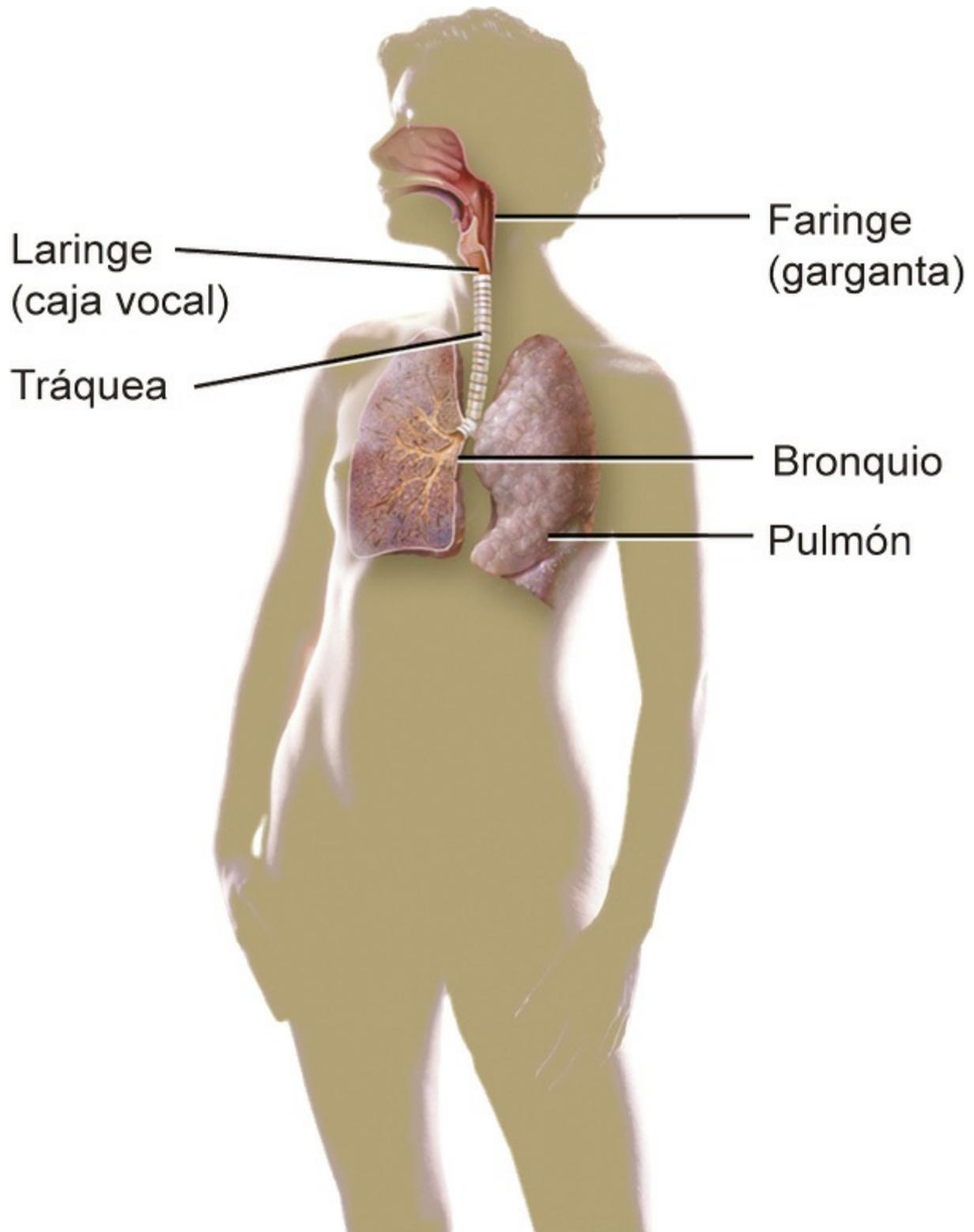
- Enumere cinco estructuras principales de las vías respiratorias superiores e inferiores
- ¿Cuál es la función principal del aparato respiratorio?
- Describa el proceso fisiológico de la respiración. ¿Cuáles músculos se utilizan?
- ¿Cómo se transporta el oxígeno a los tejidos corporales?
- ¿Cuáles factores pueden aumentar o disminuir la frecuencia y la profundidad respiratorias de una persona?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Enumerar las principales estructuras anatómicas de las vías respiratorias superiores e inferiores
- Describir los procesos de la ventilación pulmonar
- Explicar cómo es capaz el organismo de controlar la frecuencia y profundidad respiratorias
- Comentar los principios de la respiración externa
- Describir cómo se transportan oxígeno y dióxido de carbono por todo el organismo

Mapa del cuerpo

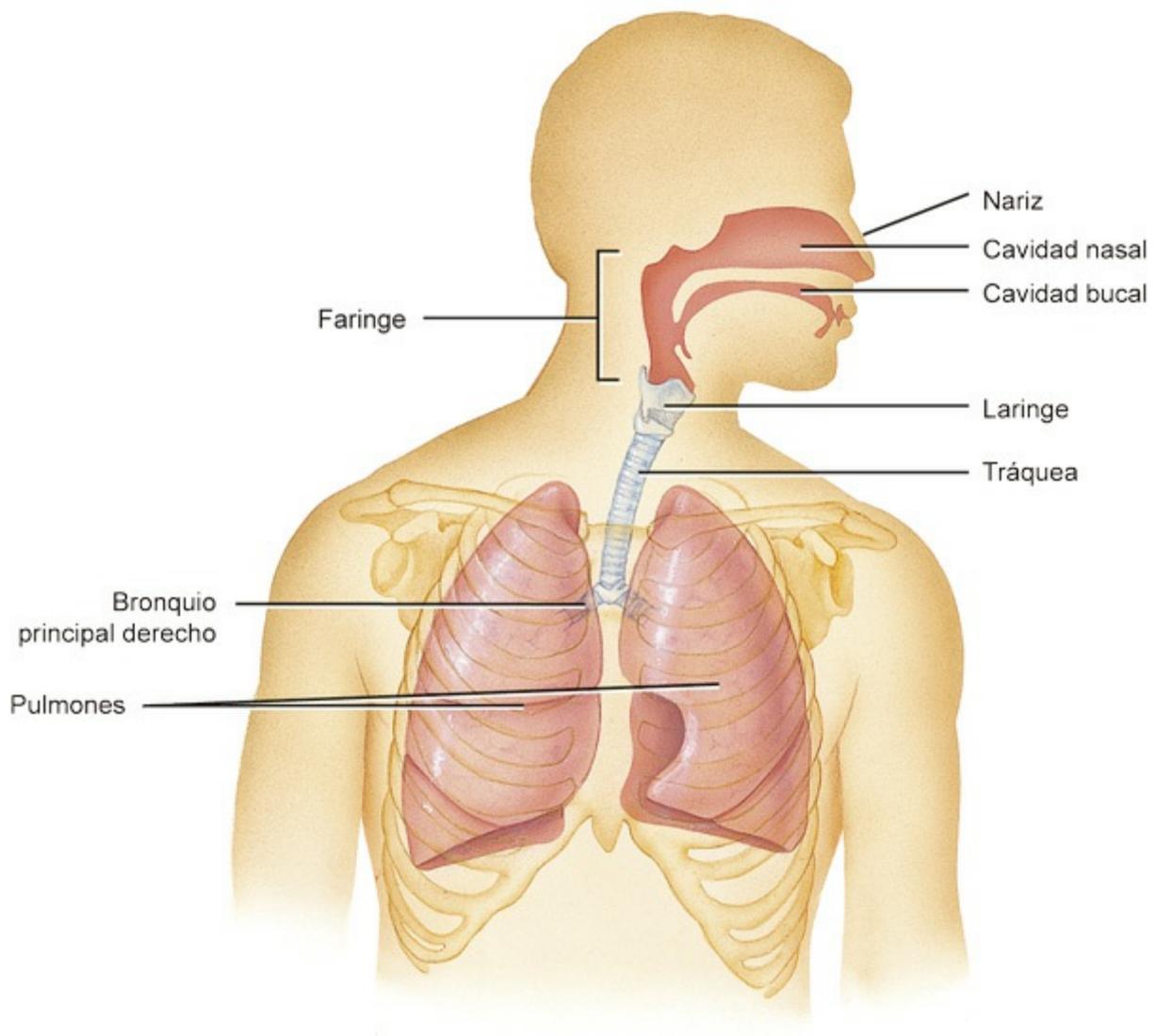


Introducción

Las células humanas sólo pueden sobrevivir si reciben un aporte continuo de oxígeno. Cuando las células consumen oxígeno, se produce un gas de desecho, el dióxido de carbono. Si se permite que éste se acumule, puede afectar la actividad celular y alterar la homeostasis. Por lo tanto, la principal función del aparato respiratorio es asegurar que el organismo extraiga suficiente oxígeno de la atmósfera y elimine el exceso de dióxido de carbono. El acopio de oxígeno y la eliminación del dióxido de carbono recibe el nombre de respiración. La respiración implica los cuatro siguientes procesos bien diferenciados: ventilación pulmonar, respiración externa, transporte de gases y respiración interna. Si bien los cuatro se examinan en este capítulo, sólo la ventilación pulmonar y la respiración externa son responsabilidad exclusiva del aparato respiratorio. Dado que el oxígeno y el dióxido de carbono se transportan por el cuerpo en la sangre, la respiración eficaz también depende de un aparato circulatorio plenamente funcional.

Organización del aparato respiratorio

El aparato respiratorio se divide en vías respiratorias superiores e inferiores (figura 11-1). Todas las estructuras respiratorias situadas por debajo de la laringe forman parte de las vías respiratorias inferiores. Puede decirse que el aparato respiratorio se divide en las regiones conductora y respiratoria. Las vías respiratorias superiores y la sección más alta de las inferiores forman la región conductora, en la cual el aire es conducido por una serie de tubos y vasos. La región respiratoria es la parte funcional de los pulmones, donde el oxígeno se difunde en la sangre. Las estructuras dentro de la región respiratoria son microscópicas, muy frágiles y fácilmente dañadas por una infección. Debido a ello, tanto las vías respiratorias superiores como las inferiores están equipadas para combatir cualesquiera patógenos aéreos bacterianos o virales que las invadan.



Vista anterior que muestra los órganos de la respiración

Figura 11-1. Principales estructuras de las vías respiratorias superiores e inferiores. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de

John Wiley & Sons.

Vías respiratorias superiores

El aire ingresa en el cuerpo por las cavidades nasal y bucal. La cavidad nasal se divide en dos secciones iguales por el tabique nasal, una estructura formada por los huesos etmoides y el vómer del cráneo. El espacio en que el aire entra en la cavidad nasal adentro de las narinas se conoce como vestíbulo. Más allá de cada vestíbulo las cavidades nasales se subdividen en tres conductos aéreos, los meatos, formados por tres proyecciones a manera de repisa llamadas cornetes nasales superior, medio e inferior (figura 11-2). La región en torno a los cornetes superiores y el tabique superior contiene receptores olfativos, responsables del sentido del olfato. La faringe conecta las cavidades nasal y bucal con la laringe. La faringe se divide en tres regiones llamadas nasofaringe, bucofaringe y laringofaringe. La nasofaringe se sitúa detrás de la cavidad nasal y tiene dos aberturas que dan a las trompas de Eustaquio (tubas auditivas). Bucofaringe y laringofaringe se ubican abajo de la nasofaringe y atrás de la cavidad bucal. Bucofaringe y cavidad bucal están separadas por las fauces (figura 11-2). Tanto la bucofaringe como la laringofaringe son vías de paso para alimentos sólidos y líquidos, así como de aire. A fin de protegerlas de la abrasión por partículas de alimento están recubiertas por epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado (capítulo 4).

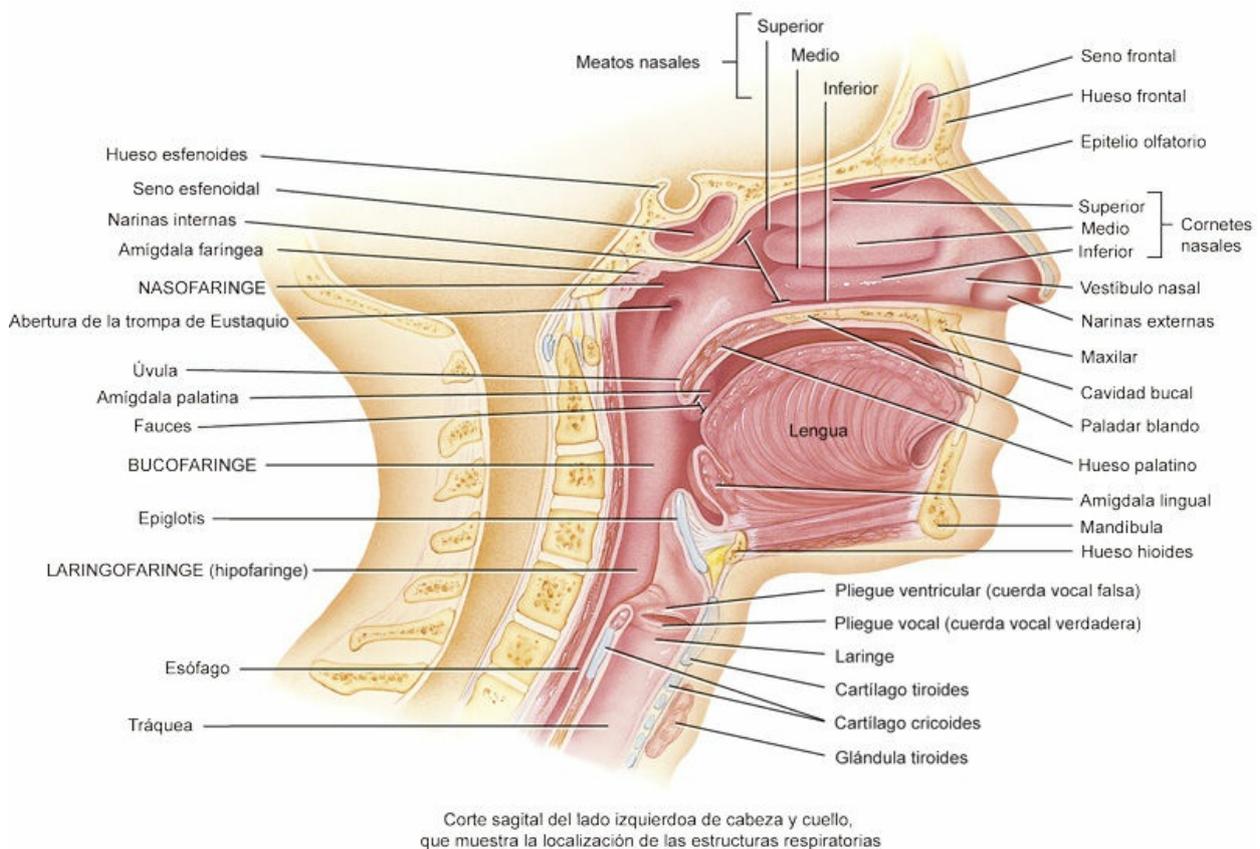


Figura 11-2. Estructuras de las vías respiratorias superiores. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Además de ser el sitio del sentido del olfato, las vías respiratorias superiores también aseguran que el aire que entra en las vías respiratorias inferiores esté tibio, húmedo y limpio. El vestíbulo está cubierto por vellos gruesos que filtran el aire entrante, con lo que impiden el paso de partículas grandes de polvo. Los cornetes están cubiertos por una membrana mucosa de epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado que contiene una red de capilares y una abundante población de células caliciformes secretoras de moco. La sangre que fluye por los capilares calienta el aire que pasa, mientras que el moco lo humedece y atrapa cualesquiera partículas de polvo que pasen. Las partículas de polvo cubiertas de moco son impulsadas entonces por los cilios hacia la faringe, donde pueden deglutirse o expectorarse.

Para mayor protección, las vías respiratorias superiores están cubiertas por receptores irritantes, los cuales cuando son estimulados por partículas invasoras (p. ej. polvo o polen) inducen un estornudo, lo cual hace que el material agresor sea expulsado por la nariz o la boca. La faringe también contiene cinco amígdalas. Cuando la boca está abierta, las dos amígdalas visibles son las amígdalas palatinas; atrás de la lengua se encuentran las amígdalas linguales, y la adenoides se ubican en la pared posterior superior de la faringe. Las amígdalas son ganglios linfáticos, parte del sistema de defensa del organismo. El recubrimiento epitelial de su superficie tiene pliegues profundos, llamados criptas. Las bacterias o partículas inhaladas quedan atrapadas en las criptas y luego son engullidas y destruidas.

Vías respiratorias inferiores

Las vías respiratorias inferiores comprenden la laringe, tráquea, bronquios principales derecho e izquierdo y todos los componentes de ambos pulmones (figura 11-3). Los pulmones son dos órganos cónicos que ocupan casi la totalidad del tórax. Están protegidos por una armazón de huesos, la caja torácica, que consiste en costillas, esternón y vértebras (columna vertebral). La punta de cada pulmón, el vértice, se encuentra por arriba de la clavícula, y la base, más amplia, se localiza arriba de un músculo cóncavo llamado diafragma. La laringe (caja de resonancia del aparato fonador) conecta la tráquea con la laringofaringe. El resto de las vías respiratorias inferiores se divide en ramas. Debido a ello, la estructura de las vías respiratorias inferiores se denomina árbol bronquial.

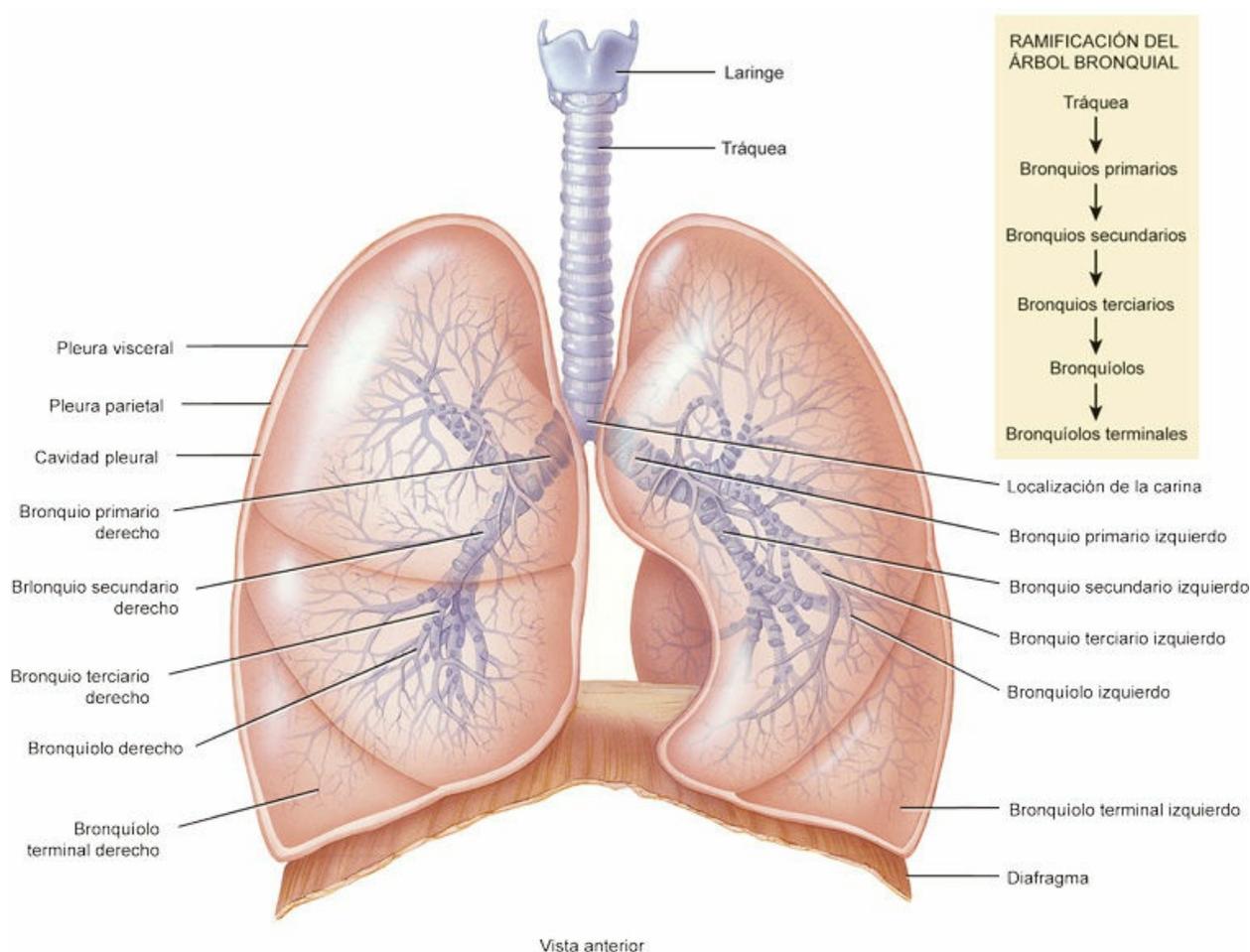


Figura 11-3. Anatomía macroscópica de las vías respiratorias inferiores.

Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Laringe

La laringe consiste de nueve piezas de tejido cartilaginoso: tres piezas únicas y tres pares (figura 11-4). Las piezas únicas de cartílago son el cartílago tiroides, la epiglotis y el cartílago cricoides. Al cartílago tiroides se le llama de manera coloquial manzana de Adán, y junto con el cartílago cricoides protege las

cuerdas vocales. El ligamento cricotiroideo, que conecta los cartílagos tiroides y cricoides, es la referencia para una traqueostomía de urgencia (McGrath, 2014). La epiglotis es una pieza de cartílago elástico en forma de hoja unida a la parte superior de la laringe. Su función es proteger a la vía respiratoria de la entrada de alimento o agua. Al deglutir, la epiglotis bloquea la entrada a la laringe, de modo que el alimento sólido y líquido es desviado hacia el esófago, adyacente. La inhalación de sólidos o líquidos puede bloquear las vías respiratorias inferiores e interrumpir el suministro de oxígeno a todo el cuerpo; esta urgencia médica se conoce como aspiración y requiere el retiro expedito del material causante.

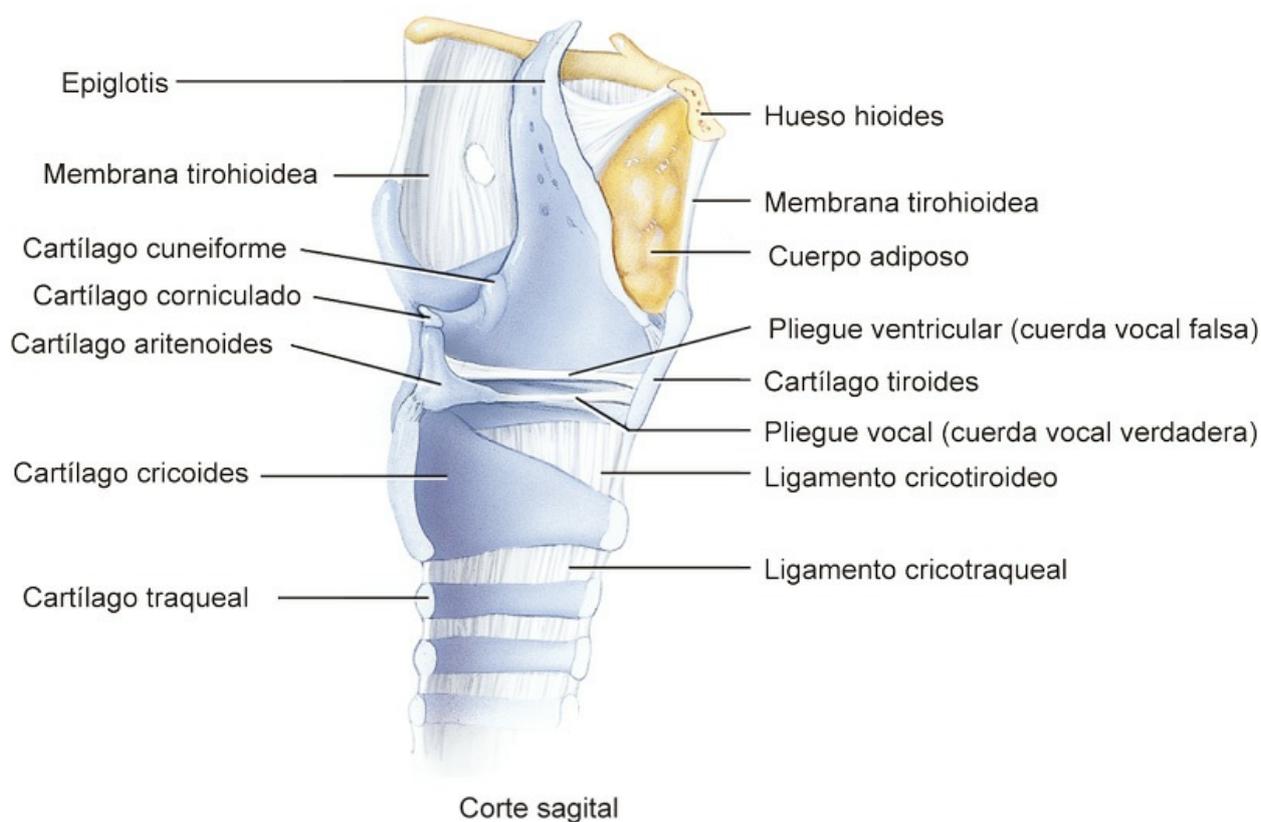


Figura 11-4. Anatomía de la laringe. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los tres pares de piezas de cartílago son los cartílagos aritenoides, cuneiformes (de Wrisberg) y corniculados (de Santorini) (figura 11-4). Los cartílagos aritenoides son los más importantes, ya que influyen en el movimiento de las membranas mucosas (pliegues vocales verdaderos) que generan la voz. Por lo tanto, el habla depende de un aparato respiratorio del todo funcional. Muchos trastornos obstructivos pulmonares, como el asma, disminuyen la capacidad de la persona para decir una oración completa sin volver a tomar aliento (Higginson y Jones, 2009).

Tráquea

La tráquea es un vaso tubular que lleva aire de la laringe hacia los pulmones. La tráquea también está recubierta de epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado, de modo que cualquier cuerpo extraño que se inhale es atrapado e impulsado hacia arriba hasta el esófago y faringe para su deglución o expectoración. La tráquea y los bronquios también contienen receptores irritantes, que estimulan la tos y así fuerzan el avance de partículas extrañas más grandes hacia arriba. La capa más externa de la tráquea contiene tejido conjuntivo reforzado por una serie de 16 a 20 anillos cartilagosos en forma de C. Estos anillos impiden que la tráquea se colapse durante un ciclo respiratorio activo.

Árbol bronquial

Los pulmones están divididos en regiones bien definidas llamadas lóbulos. El pulmón derecho tiene tres lóbulos, y el izquierdo tiene dos. El corazón, junto con la mayoría de sus grandes vasos, se sitúa en un espacio entre los dos pulmones llamado escotadura cardiaca. Cada pulmón está rodeado por dos delgadas membranas protectoras llamadas pleuras parietal y visceral (figura 11-3). La pleura parietal recubre la pared del tórax, mientras que la pleura visceral reviste los pulmones en sí. El espacio entre las dos pleuras, llamado espacio pleural, es diminuto y contiene una delgada película de líquido lubricante que reduce la fricción entre las dos pleuras, permitiendo que las dos capas se deslicen una sobre otra durante la respiración. Este líquido también ayuda a las pleuras visceral y parietal a adherirse entre sí, del mismo modo en que dos piezas de vidrio se adhieren cuando están húmedas.

Dentro de los pulmones los bronquios principales se dividen en bronquios secundarios, cada uno de los cuales sirve a un lóbulo (tres bronquios secundarios a la derecha y dos a la izquierda). Los bronquios secundarios se dividen en bronquios terciarios (figuras 11-3 y 11-5), de los cuales hay 10 en cada pulmón. Los bronquios terciarios continúan dividiéndose en una red de bronquíolos, que al final desembocan en un bronquíolo terminal. La sección del pulmón servida por un bronquíolo terminal se conoce como lobulillo, y cada lobulillo tiene su propio suministro de sangre arterial y vasos linfáticos. El árbol bronquial continúa subdividiéndose; el bronquíolo terminal desemboca en una serie de bronquíolos respiratorios, que a su vez genera varios conductos respiratorios. Las vías respiratorias terminan en numerosas estructuras esféricas llamadas alvéolos, que se reúnen para formar sacos alveolares (figura 11-6). Los pulmones humanos contienen un promedio de 480 millones de alvéolos (Ochs *et al.*, 2004). La transferencia de oxígeno del aire a la sangre sólo ocurre del bronquíolo respiratorio en adelante. Las vías respiratorias entre la tráquea y los bronquíolos respiratorios forman la región conductora de los pulmones. Las vías situadas más allá de los bronquíolos respiratorios constituyen la región respiratoria funcional de los pulmones. Esta región representa dos tercios del área de superficie pulmonar (Tortora y Derrickson, 2009).

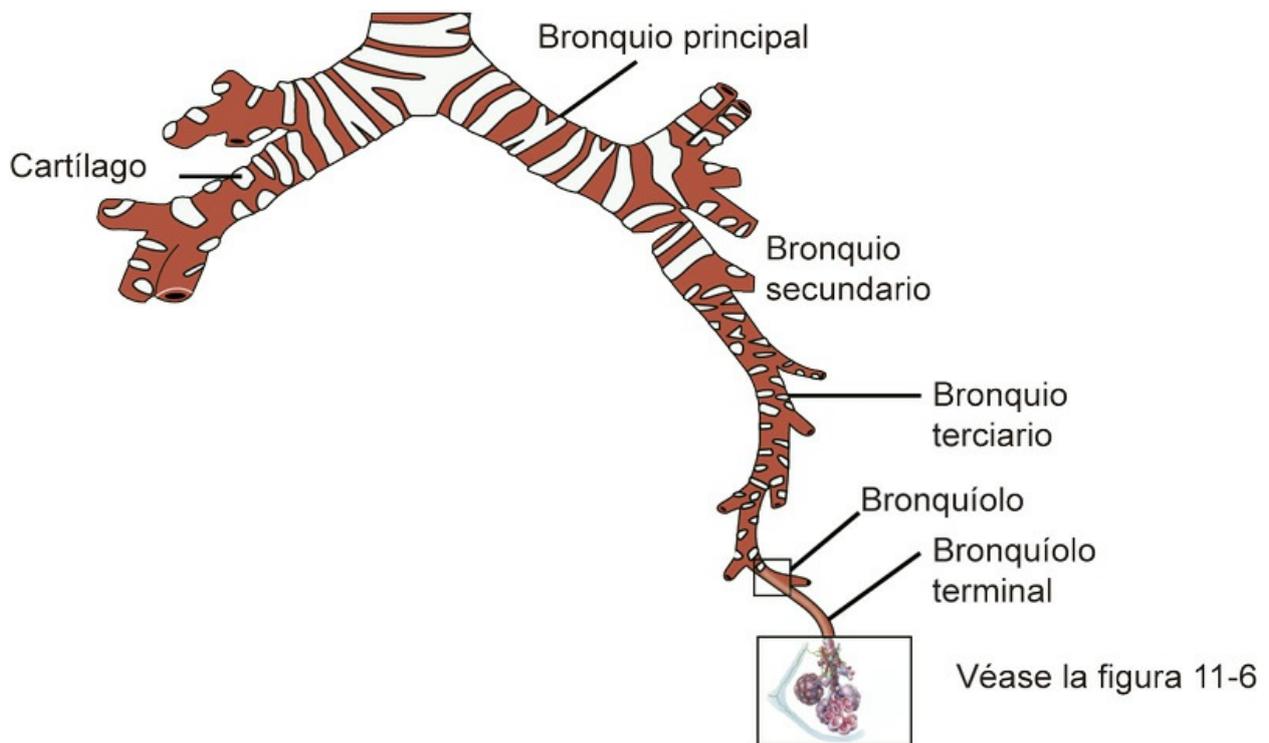


Figura 11-5. Árbol bronquial. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

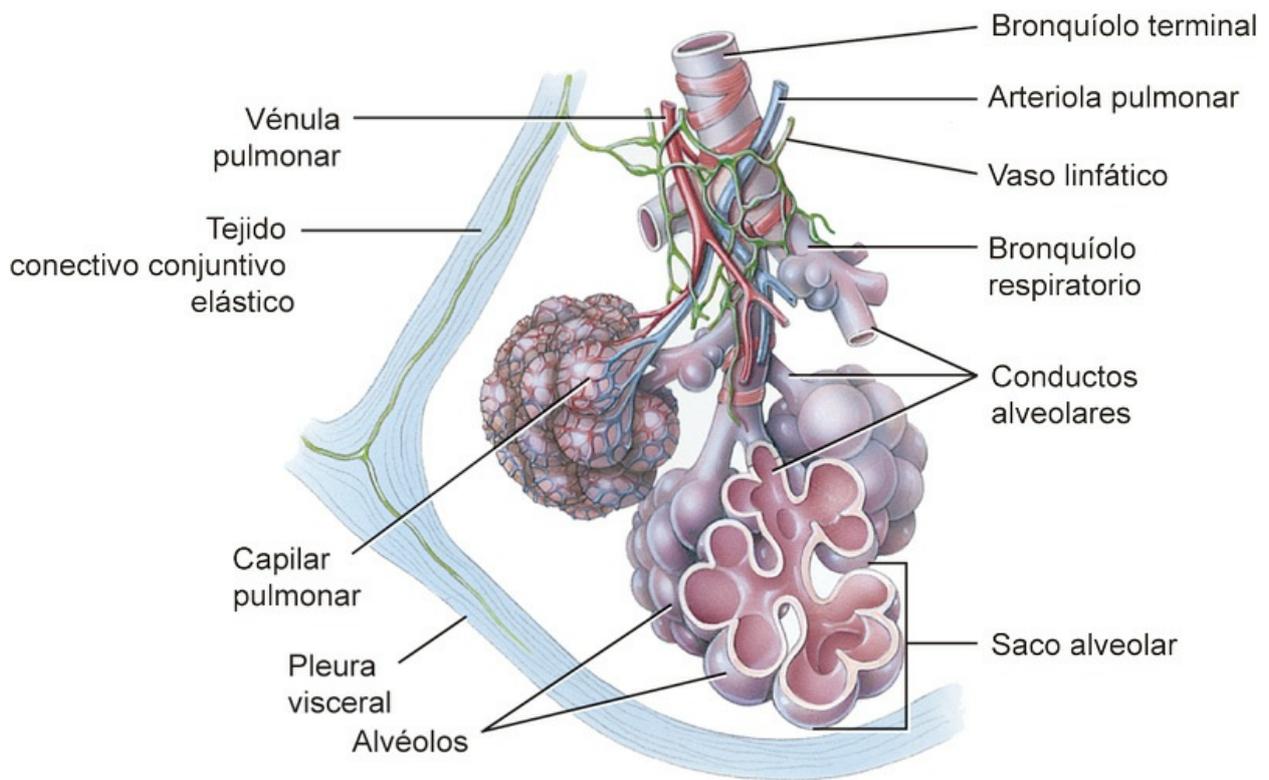


Diagrama de una porción de un lobulillo pulmonar

Figura 11-6. Anatomía microscópica de un lobulillo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducido con permiso de John Wiley & Sons.

Instantánea

Neumotórax espontáneo

David, un varón de 29 años, paseaba a su perro en el bosque cercano a su casa. Después de lanzar una vara para que el perro la recuperara, experimentó un dolor agudo en el lado izquierdo del tórax. El dolor era insoportable, y dificultaba la respiración. Un transeúnte llamó a una ambulancia que llevó a David al departamento de urgencias, donde lo atendió una enfermera. Ella notó que la respiración era asimétrica, pues sólo el lado derecho del tórax subía y bajaba. También observó cianosis central, respiración laboriosa y baja saturación de oxígeno. Una radiografía reveló un neumotórax de más de 2 cm de ancho. El equipo médico procedió a insertar un dren torácico.

David había sufrido un neumotórax espontáneo. El neumotórax, o colapso pulmonar, ocurre cuando entra aire en el espacio pleural y las pleuras visceral y parietal se separan, haciendo que un pulmón se colapse. La causa suele ser un traumatismo o enfermedad respiratoria, aunque también puede ocurrir de manera espontánea en personas que tienen vesículas o bullas subpleurales o en los vértices pulmonares. Los neumotórax espontáneos también son más frecuentes en personas que fuman.

Véase MacDuff *et al.* (2010).

Administración de medicamentos

Salbutamol nebulizado

El salbutamol es un agonista β_2 usado como broncodilatador para revertir la constricción de las vías respiratorias causada por enfermedades obstructivas, como el asma. El asma es una enfermedad inflamatoria crónica de las vías respiratorias en la cual se dice que los pacientes tienen vías respiratorias hipersensibles o hiperreactivas. Las personas que viven con asma experimentan periodos de inflamación y constricción reversibles de bronquios y bronquiólos, que causan falta de aliento (disnea) y una sibilancia característica. Cuando encuentran un factor desencadenante (p. ej. alergia, infección o estrés), los mastocitos o células cebadas de las paredes de los bronquios y bronquiólos liberan varias citocinas (mensajeros químicos) que hacen que se eleve la producción de moco y la permeabilidad capilar. Muy pronto las vías respiratorias se llenan de moco y líquido que escapa de los vasos sanguíneos, y se obstruye el flujo de aire. Agonistas β_2 como el salbutamol estimulan las células con receptores β_2 en las paredes de bronquios y bronquiólos, causando broncodilatación.

Un nebulizador fuerza un chorro de aire u oxígeno a través de un preparado líquido de salbutamol, produciendo un rocío del medicamento, que el paciente inhala mediante una mascarilla o pipa especiales. Si bien el salbutamol es un tratamiento farmacológico eficaz, la enfermera debe estar atenta a los siguientes efectos adversos:

- Taquicardia y otras arritmias.
- Sacudidas de manos y otros temblores.
- Cefalea.
- Tensión nerviosa.

El salbutamol también puede administrarse en inhalador o como tabletas o infusión subcutánea o intravenosa. Otros agonistas β_2 son la terbutalina, fenoterol y salmeterol.

Véase British Thoracic Society y Scottish Intercollegiate Guidelines Network (2014).

Administración de medicamentos

Corticosteroides

Los corticosteroides son potentes antiinflamatorios que se usan a menudo para reducir la hiperactividad bronquial en personas que viven con enfermedades inflamatorias crónicas de las vías respiratorias, como asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Los corticosteroides reducen la inflamación de las vías respiratorias y por ello son muy eficaces en el tratamiento de la obstrucción de dichas vías. Los corticosteroides son un tratamiento de primera línea para el asma moderado, grave y potencialmente letal. Son corticosteroides comunes:

- Prednisolona.
- Hidrocortisona.

Los pacientes que toman los corticosteroides anteriores requieren vigilancia cuidadosa, ya que estos fármacos pueden inducir los siguientes efectos adversos:

- Osteoporosis.
- Diabetes.
- Cambios en el estado de ánimo.
- Aumento de peso.
- Aumento del vello corporal.

Los corticosteroides inhalables son muy eficaces para la profilaxis del asma. Preparados como los de beclometasona, budesonida y fluticasona se prescriben a menudo a pacientes que viven con asma para su uso diario, a fin de minimizar el riesgo de exacerbaciones.

Véase British Thoracic Society y Scottish Intercollegiate Guidelines Network (2014).

Riego sanguíneo

Las regiones de conducción y respiración de los pulmones reciben sangre de diferentes arterias. La sangre desoxigenada se envía a los lobulillos a través de capilares que se originan en las arterias pulmonares derecha e izquierda. Una vez que se ha reoxigenado, la sangre se envía de regreso al lado izquierdo del corazón por una de las cuatro venas pulmonares, lista para ser lanzada a la circulación sistémica (figura 11-7). La región de conducción de los pulmones recibe sangre oxigenada de capilares que surgen de las arterias bronquiales, las cuales se originan en la aorta. Algunas de las arterias bronquiales se conectan a las arterias pulmonares, pero la mayor parte de la sangre regresa al corazón por las venas pulmonares o bronquiales.

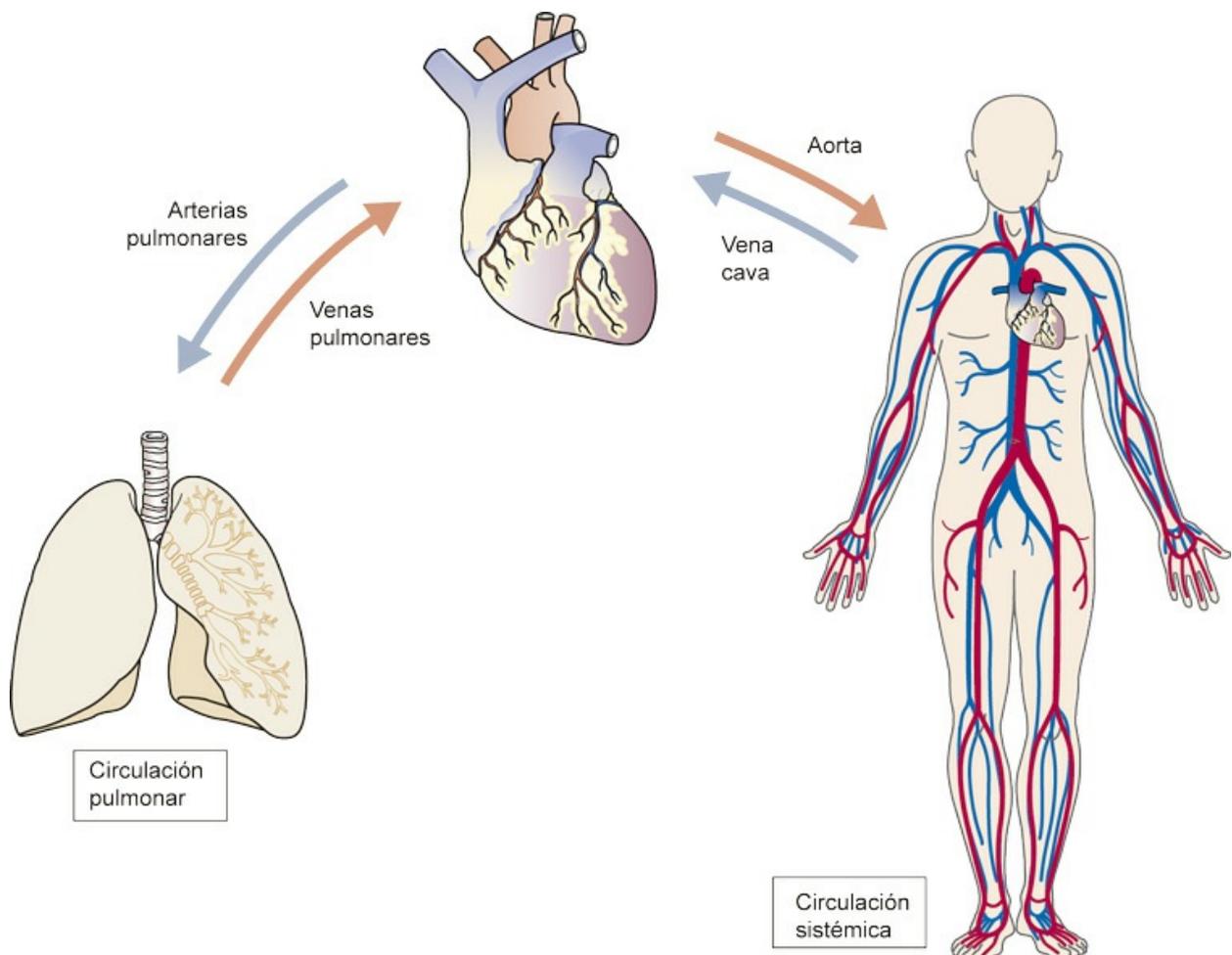


Figura 11-7. Flujo de sangre entre los pulmones, el corazón y el resto del cuerpo.

Respiración

El proceso por el cual el oxígeno y el dióxido de carbono se intercambian entre la atmósfera y las células del cuerpo se denomina respiración. La respiración presenta cuatro fases bien definidas:

- **Ventilación pulmonar:** el aire entra y sale de los pulmones.
- **Respiración externa:** el oxígeno se difunde desde los pulmones hacia el torrente sanguíneo, y el dióxido de carbono se difunde de la sangre a los pulmones.
- **Transporte de gases:** oxígeno y dióxido de carbono son transportados entre los pulmones y los tejidos corporales;
- **Respiración interna:** el oxígeno es suministrado a las células corporales, al tiempo que se recibe de éstas el dióxido de carbono.

Para entender estos cuatro procesos es necesario conocer una serie de leyes de los gases, que se resumen en el cuadro 11-1.

Cuadro 11-1. Resumen de leyes de los gases importantes

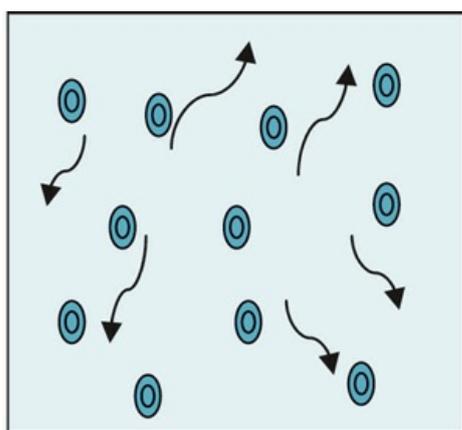
| Ley | Resumen | Aplicación clínica |
|---------------|--|---|
| Ley de Boyle | A una temperatura fija la presión ejercida por un gas es inversamente proporcional a su volumen | Cuando el tórax se expande, la presión intrapulmonar desciende por abajo de la presión atmosférica |
| Ley de Dalton | En una mezcla de gases, cada gas ejerce su propia presión individual, como si no estuvieran presentes otros gases | Las diferencias de presión parcial rigen el movimiento de oxígeno y dióxido de carbono entre la atmósfera, los pulmones y la sangre |
| Ley de Henry | La cantidad de gas que se disuelve en un líquido es proporcional a su presión y su solubilidad | Oxígeno y dióxido de carbono son solubles en agua y se transportan en la sangre. El nitrógeno es muy insoluble y, pese a que representa el 79% de la atmósfera, muy poco se disuelve en la sangre |
| Ley de Fick | La rapidez con que un gas se difunde a través de una membrana permeable depende de la diferencia de presión, área superficial, distancia de difusión, peso molecular y solubilidad | Ayuda a explicar el modo en que la altitud, ejercicio y enfermedad respiratoria pueden influir sobre la cantidad de oxígeno que se difunde en la sangre |

Fuente: Adaptado de Davies y Moores (2003).

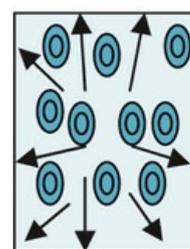
Ventilación pulmonar

Mecánica de la respiración

El término ventilación pulmonar describe el proceso conocido como *respiración*. Para que el aire entre y salga de los pulmones es necesario que ocurra un cambio de presión. Antes de la inspiración la presión intrapulmonar (la presión dentro de los pulmones) es igual a la presión atmosférica. Durante la inspiración el tórax se expande y la presión intrapulmonar desciende por abajo de la atmosférica. Dado que la presión intrapulmonar ahora es menor que la atmosférica, el aire entra de manera espontánea en los pulmones hasta que deja de existir esa diferencia de presión. Este fenómeno es explicado por la ley de Boyle y la ley de Dalton. Los gases ejercen presión, y la ley de Boyle establece que a una temperatura fija la cantidad de presión ejercida por una masa dada de gas es inversamente proporcional al tamaño de su recipiente. Volúmenes más grandes proporcionan mayor espacio para la circulación de moléculas de gas, y por lo tanto se ejerce menos presión. En volúmenes menores es más probable que las moléculas de gas choquen con las paredes del recipiente, y como resultado ejercen una mayor presión (figura 11-8). La ley de Dalton explica que en una mezcla de gases cada gas ejerce su propia presión individual, proporcional a su tamaño. Por ejemplo, el aire atmosférico contiene una mezcla de gases. Cada gas individual ejercerá su propia presión, la cual depende de su cantidad. Así, el nitrógeno ejercerá la mayor presión, ya que es el gas más abundante. De manera colectiva, todos los gases de la atmósfera ejercen una presión, la presión atmosférica, que es de 101.3 kPa (kilopascales) al nivel del mar (cuadro 11-2). Con la inhalación el tórax se expande, la presión intrapulmonar desciende por debajo de 101.3 kPa y, dado que el aire fluye de zonas de alta presión a zonas de baja presión, entra en los pulmones (Hickin *et al.*, 2013).



En volúmenes grandes los gases ejercen menos presión



En volúmenes menores los gases ejercen más presión

Figura 11-8. Ley de Boyle: el volumen de un gas varía inversamente con su

presión.

Cuadro 11-2. Proporción de gases que constituyen la atmósfera (las presiones parciales se expresan como P_{gas})

| Gas | Volumen (%) | Presión (kPa) |
|--|-------------|---------------|
| Nitrógeno (P_{N_2}) | 78.084 | 79.055 |
| Oxígeno (P_{O_2}) | 20.946 | 21.218 |
| Dióxido de carbono (P_{CO_2}) | 0.035 | 0.0355 |
| Argón (P_{Ar}) | 0.934 | 0.946 |
| Otros gases ^a | 0.001 | 0.001 |
| Presión atmosférica total (P_{B}) | 100 | 101.3 |

Fuente: Adaptado de Brimblecombe (1986), Lutgens y Tarbuck (2001) y Lumb (2005).

^aNeón, helio, metano, kriptón, óxido nitroso, hidrógeno, ozono, xenón.

Se usan varios músculos respiratorios para la expansión torácica durante la inspiración (figura 11-9). Los principales músculos de la inspiración son el diafragma y los músculos intercostales externos. El diafragma es un músculo esquelético en forma de domo situado abajo de los pulmones, en la base del tórax. Hay 11 músculos intercostales externos, que se encuentran en los espacios intercostales (los espacios entre las costillas). Durante la inspiración el diafragma se contrae hacia abajo, tirando de los pulmones con él. Al mismo tiempo, los músculos intercostales externos tiran de la caja torácica hacia fuera y arriba. El tórax es ahora más grande que antes, y como resultado la presión intrapulmonar se reduce por debajo de la presión atmosférica. El músculo inspiratorio más importante es el diafragma; 75% del aire que entra en los pulmones lo hace como resultado de la contracción diafragmática. La espiración es un proceso más pasivo. Los músculos intercostales externos y el diafragma se relajan, permitiendo que el rebote elástico natural del tejido pulmonar recupere su forma, forzando el regreso del aire a la atmósfera (figura 11-10).

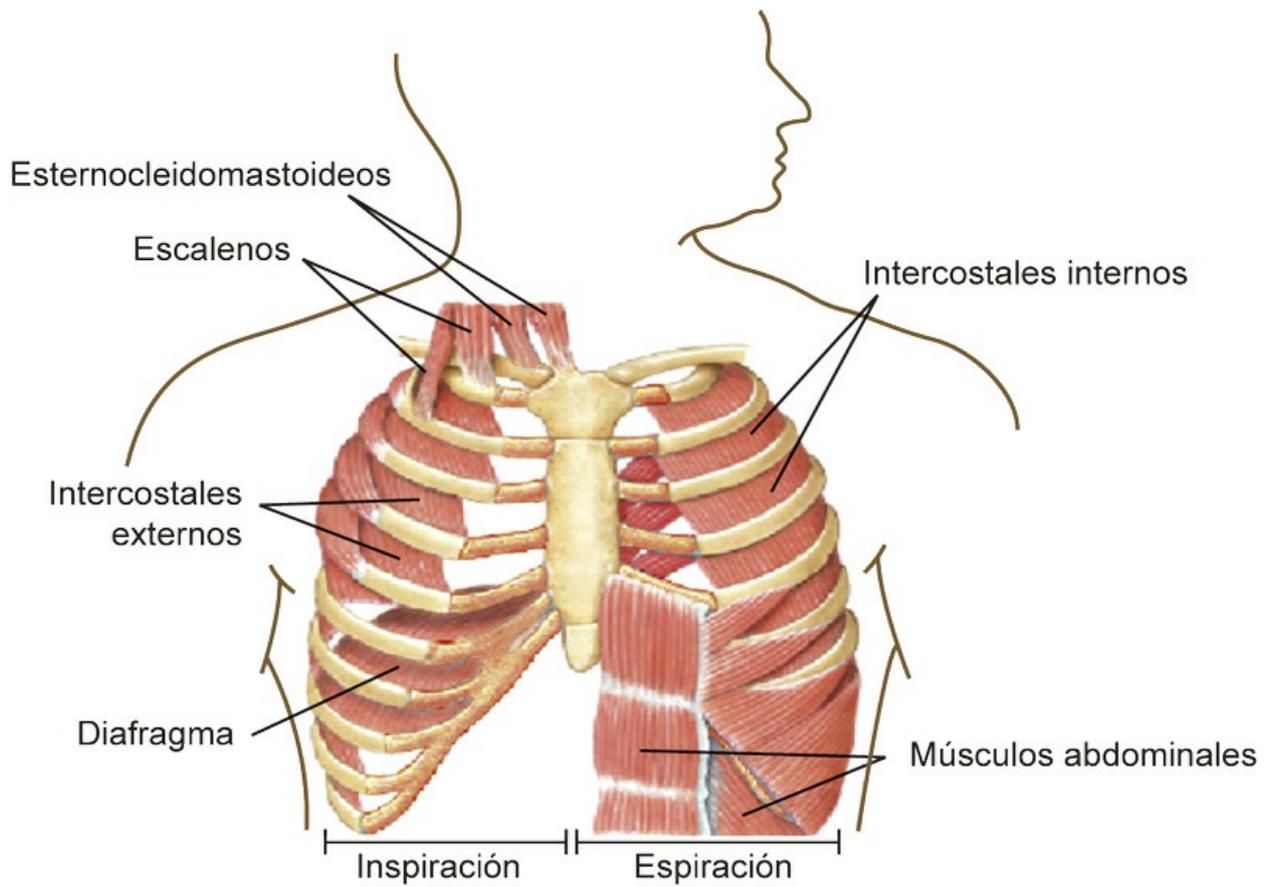


Figura 11-9. Músculos implicados en la ventilación pulmonar. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

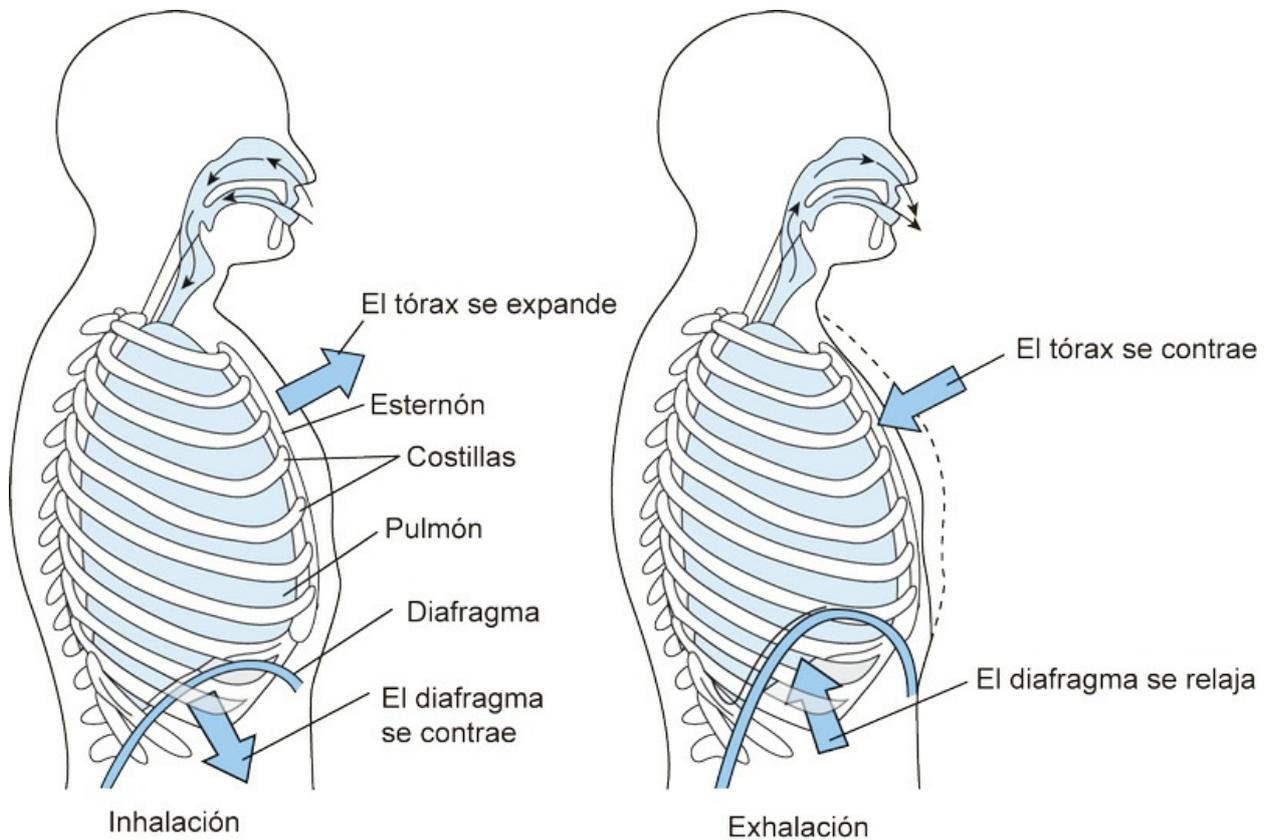


Figura 11-10. Movimientos de inspiración y espiración. *Fuente:* Nair y Peate

(2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

También pueden utilizarse otros músculos respiratorios. Los músculos de la pared abdominal y los músculos intercostales internos, por ejemplo, se utilizan para forzar la salida de aire más que en una respiración normal, como podría ocurrir al tocar un instrumento musical o apagar las velitas de un pastel de cumpleaños. También pueden usarse los esternocleidomastoideos, escalenos y pectorales para una inspiración forzada profunda. Estos músculos se conocen como accesorios porque rara vez se usan en la respiración tranquila normal (Simpson, 2006).

Trabajo respiratorio

Durante la inspiración los músculos respiratorios deben vencer diversos factores que impiden la expansión torácica. El rebote elástico natural del tejido pulmonar, la resistencia al flujo de entrada de aire a través de vías respiratorias estrechas y las fuerzas de tensión superficial en la interfase líquido–aire en el lobulillo todos se oponen a la expansión torácica. La energía requerida por los músculos respiratorios para superar estas fuerzas opuestas se conoce como trabajo respiratorio. La cantidad de energía invertida se mantiene en un mínimo debido a la facilidad con que los pulmones se estiran. Esta facilidad de estiramiento se denomina distensibilidad pulmonar. Debido a ella, una inhalación de unos 500 mL de aire puede lograrse sin un esfuerzo notable. Insuflar una cantidad similar de aire en un globo requeriría un esfuerzo mucho mayor. La distensibilidad pulmonar es auxiliada por la producción de una sustancia similar a un detergente, llamada agente tensoactivo o surfactante. Siempre que un líquido y un gas entran en contacto estrecho mutuo se genera tensión superficial. El surfactante reduce la tensión superficial que ocurre cuando los alvéolos encuentran flujo de sangre capilar pulmonar en el lobulillo, con lo que reduce la cantidad de energía requerida para inflar los alvéolos. El surfactante es producido por las células alveolares tipo II, presentes en los alvéolos.

También se requiere trabajo respiratorio para vencer la resistencia en las vías respiratorias. Al fluir el aire por el árbol bronquial, ocurre resistencia a ese flujo cuando las moléculas de gas chocan entre sí en las vías respiratorias cada vez más estrechas. A pesar de estas fuerzas contrarias, el trabajo respiratorio representa menos del 5% del gasto energético total del organismo. Sin embargo, muchas enfermedades pulmonares pueden afectar la distensibilidad pulmonar y la resistencia en las vías respiratorias y, de este modo, incrementar el trabajo respiratorio. Por ejemplo, en el asma la inflamación de las vías respiratorias reduce el diámetro de éstas e incrementa la resistencia en ellas. Si ese diámetro se reduce a la mitad, la resistencia aumenta 16 veces. Las enfermedades pulmonares que dañan el tejido pulmonar también pueden afectar la distensibilidad de los pulmones. Cualquier aumento de la resistencia en las vías respiratorias y la distensibilidad pulmonar eleva de forma inevitable el trabajo respiratorio. En una enfermedad respiratoria aguda, el trabajo respiratorio podría representar hasta 30% del gasto energético corporal total (Levitzky *et al.*, 1990).

Volúmenes y capacidades

Los volúmenes y capacidades pulmonares miden o estiman la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones. Cada persona tiene una capacidad pulmonar total (CPT), que es la cantidad total de aire que sus pulmones son capaces de alojar. La CPT de cada individuo depende de su edad, género y estatura. La CPT puede subdividirse en una gama de volúmenes de aire potenciales o reales. Por ejemplo, la cantidad de aire que entra y sale de los pulmones durante una respiración es el volumen corriente, V_T . Después de una respiración tranquila normal los pulmones aún tienen espacio para una inspiración más profunda antes de llenarse. Esta capacidad potencial para la inspiración se conoce como volumen de reserva inspiratorio (VRI). De modo similar, después de una respiración tranquila normal queda la posibilidad de una exhalación mayor. Esta capacidad potencial de exhalación se denomina volumen de reserva espiratorio (VRE). Si el volumen corriente aumenta, por ejemplo, debido a ejercicio, VRI y VRE se reducen. Volumen corriente, VRI y VRE pueden medirse. Sin embargo, debido a que siempre queda en los pulmones un pequeño volumen de aire –aun después de la exhalación máxima–, la CPT sólo puede estimarse. Este pequeño volumen de aire remanente se denomina volumen residual (VR). Dado que el VR no puede exhalarse, la cantidad total de aire que podría entrar y salir de los pulmones de una persona es una combinación de volumen corriente, VRI y VRE, que en conjunto reciben el nombre de capacidad vital (figura 11-11).

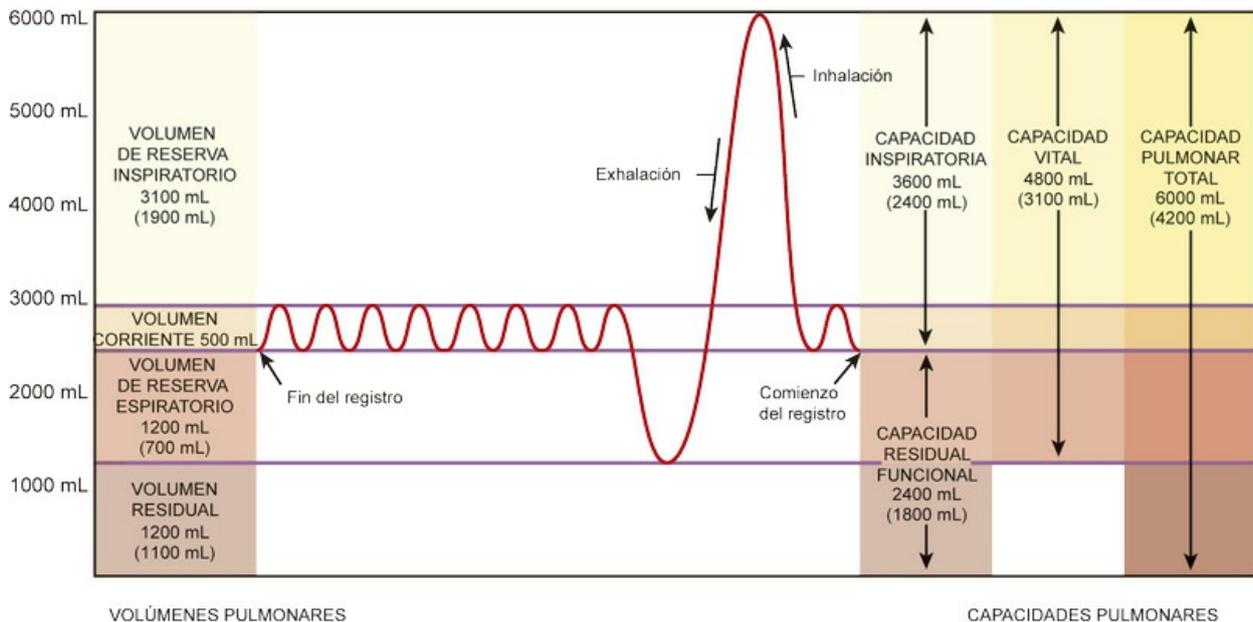


Figura 11-11. Descripción esquemática de los principales volúmenes y capacidades pulmonares. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Otras medidas importantes de volumen pulmonar son la inspiración por minuto, V_E , ventilación alveolar por minuto, V_A , y espacio muerto anatómico, V_D (cuadro 11-3). La inspiración por minuto, V_E , es la cantidad de aire que se

respira cada minuto y se calcula multiplicando volumen corriente, V_T , por frecuencia respiratoria. En el individuo sano, la inspiración por minuto es de alrededor de 6 a 8 mL por minuto. Sin embargo, sólo el aire que viaja más allá de los extremos de los bronquiólos interviene en el intercambio gaseoso. Debido a ello, el aire presente en el resto de los pulmones se denomina espacio muerto anatómico, V_D . Por lo tanto, a fin de dilucidar con exactitud cuánto aire está disponible para el intercambio gaseoso, debe tomarse en cuenta el espacio muerto anatómico. La ventilación alveolar por minuto, V_A , se calcula sustrayendo el espacio muerto anatómico de la inspiración por minuto, que en la persona sana sería de alrededor de 4 a 6 mL por minuto (Hickin *et al.*, 2013).

Cuadro 11-3. Volúmenes pulmonares importantes

| Volumen | Cálculo |
|---------------------------------------|--|
| Inspiración por minuto V_E | Volumen corriente (T_V) \times Frecuencia respiratoria p. ej. 500 (T_V) \times 12 = 6 000 mL (V_E) |
| Ventilación alveolar por minuto V_A | [Volumen corriente (T_V) - Espacio muerto anatómico (V_D)] \times Frecuencia respiratoria p. ej. [500 (T_V) - 150 (V_D)] \times 12 = 4 000 mL (V_A) |

Fuente: Martini y Nath (2009). Reproducido con permiso de Pearson Education Limited.

Consideraciones clínicas

Espirometría y flujo máximo

La espirometría mide la fuerza y el volumen de una espiración máxima después de una inspiración completa. El aire que la persona expulsa recibe el nombre de capacidad vital forzada (CVF) o máxima. El volumen que se expira después de un segundo se llama volumen espiratorio forzado (o máximo) en 1 s (VEF_1). Comparando VEF_1 con CVF en el cociente $VEF_1:CVF$, es posible determinar la gravedad de una obstrucción de las vías respiratorias. Un cociente $VEF_1:CVF$ de menos de 80% es indicativo de una enfermedad obstructiva de las vías respiratorias (Sheldon, 2005).

El **flujo (gasto) espiratorio máximo (FEM)**, o “flujo máximo”, mide la resistencia de las vías respiratorias. Es la fuerza de la espiración en litros por minuto. Mide el gasto (volumen/unidad de tiempo) espiratorio máximo del paciente por la boca. La incapacidad de alcanzar el valor predicho para edad, género y estatura podría indicar aumento de la resistencia de las vías respiratorias, como ocurre durante un acceso de asma. El FEM permite una valoración rápida y sencilla de las vías respiratorias; sin embargo, las mediciones regulares de flujo máximo son más reveladoras que las lecturas aisladas arbitrarias, y las enfermeras deben tener presente que el FEM depende del esfuerzo (Talley y O’Connor, 2001).

Control de la respiración

La frecuencia y profundidad de la respiración son controladas por los centros respiratorios, que se encuentran en el tallo encefálico, dentro de las zonas llamadas bulbo raquídeo y puente de Varolio (figura 11-12). La frecuencia respiratoria es determinada por el centro inspiratorio del bulbo raquídeo. Se piensa que éste interviene en la espiración forzada. También en el bulbo raquídeo hay quimiorreceptores especializados que de manera continua analizan las concentraciones de dióxido de carbono en el líquido cefalorraquídeo. Cuando dichos valores aumentan, se envían mensajes vía los nervios frénico e intercostal hacia el diafragma y los músculos intercostales para indicarles que se contraigan. Otra serie de quimiorreceptores presentes en aorta y arterias carótidas analizan las concentraciones de oxígeno así como las de dióxido de carbono. Si el oxígeno disminuye o el dióxido de carbono aumenta, se envían mensajes a los centros respiratorios a través de los nervios glossofaríngeo y neumogástrico (“vago”), que estimulan una mayor contracción. La respiración es afinada por las acciones de los centros neumotáxico y apneústico del puente de Varolio (figura 11-12). El centro neumotáxico envía señales inhibitorias al bulbo raquídeo para hacer más lenta la respiración, mientras que el centro apneústico estimula los centros inspiratorios, alargando la inspiración. Ambas acciones armonizan la respiración e impiden que los pulmones se inflen en exceso. Todo el día, ya sea que la persona trabaje, descansa o juegue, la frecuencia respiratoria cambiará a fin de satisfacer las necesidades de oxígeno del organismo.

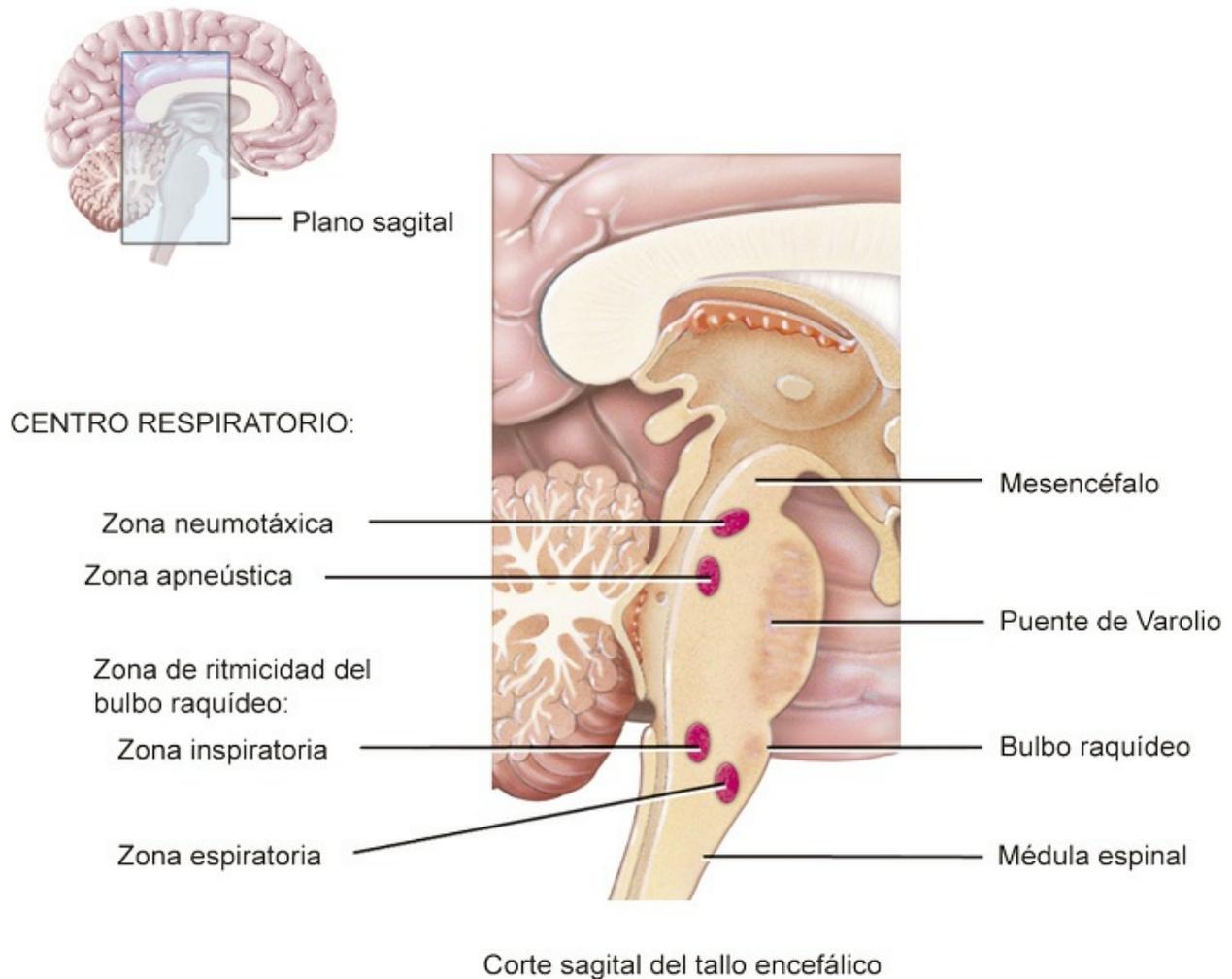


Figura 11-12. Centros respiratorios del tallo encefálico. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Consideraciones clínicas

Frecuencia respiratoria

En un adulto sano, la frecuencia respiratoria es de 12 a 16 respiraciones por minuto. Aunque la respiración es en esencia una actividad subconsciente, la frecuencia y profundidad de la respiración pueden controlarse de manera voluntaria o incluso suspenderse por completo, por ejemplo cuando se nada bajo el agua. Sin embargo, este control voluntario es limitado, ya que los centros respiratorios tienen una intensa urgencia de mantener la respiración. La respiración también puede verse influida por el estado mental. La zona inspiratoria de los centros respiratorios puede ser estimulada tanto por el sistema límbico como por el hipotálamo, dos zonas del encéfalo responsables de procesar las emociones. Temor, ansiedad o incluso la anticipación de actividades estresantes pueden causar un incremento involuntario de la frecuencia y profundidad de la respiración. Otros factores que pueden influir en la respiración son la fiebre y el dolor. Dado que la respiración está en gran medida fuera del control del individuo, cualesquiera cambios en la frecuencia respiratoria revisten importancia clínica (Hogan, 2006).

Respiración externa

Intercambio gaseoso

La respiración externa sólo ocurre más allá de los bronquiólos respiratorios. Se define como la difusión de oxígeno desde los alvéolos hacia la circulación pulmonar (flujo de sangre por los pulmones) y la difusión de dióxido de carbono en el sentido opuesto. La difusión ocurre porque las moléculas de gas siempre se mueven de zonas de alta concentración a otras de baja concentración. Cada lobulillo pulmonar tiene su propio riego sanguíneo arterial; este riego sanguíneo se origina en la arteria pulmonar, que surge del ventrículo derecho del corazón. La sangre presente en la arteria pulmonar se ha acumulado a partir de la circulación sistémica y por ello es baja en oxígeno y relativamente alta en dióxido de carbono. La cantidad (y por tanto la presión) de oxígeno en los alvéolos es mucho mayor que en el riego sanguíneo arterial circulante. Debido a ello, el oxígeno sale en forma pasiva de los alvéolos hacia la circulación pulmonar y hacia el lado izquierdo del corazón. Dado que hay menos dióxido de carbono en los alvéolos que en la circulación pulmonar, ese gas se transfiere a los alvéolos, listo para ser exhalado (figura 11-13).

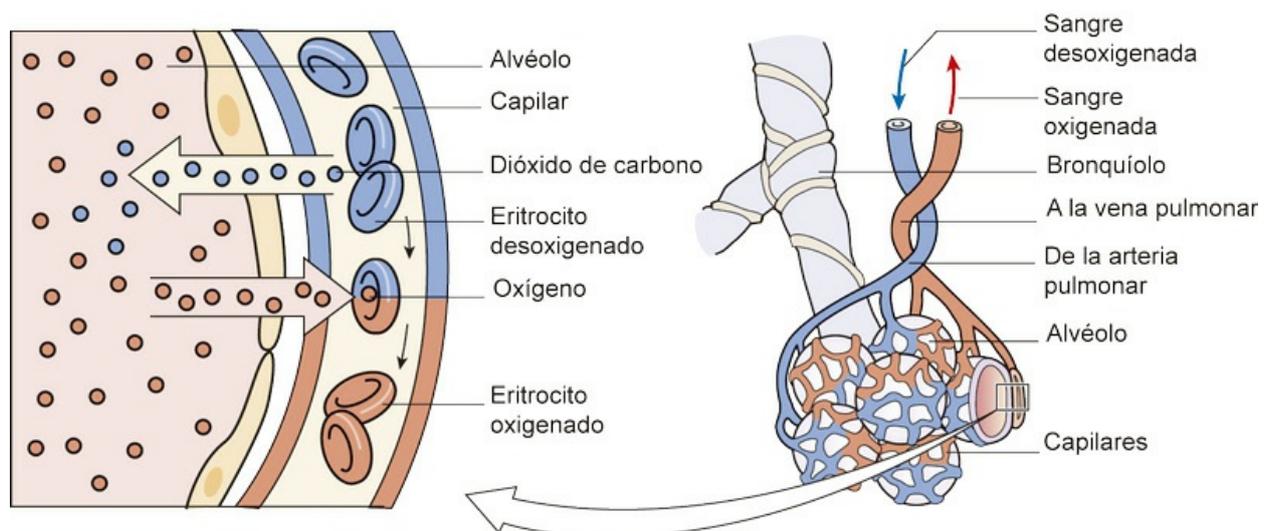


Figura 11-13. Respiración externa: intercambio de oxígeno y dióxido de carbono en los pulmones.

Factores que influyen en la difusión

Se requieren unos 0.25 s para que una molécula de oxígeno se difunda de los alvéolos a la circulación pulmonar. Sin embargo, hay diversos factores que determinan la rapidez con que el oxígeno y el dióxido de carbono se difunden entre los alvéolos y la circulación pulmonar. Esto se explica mejor mediante la ley de Fick de la difusión, una ecuación que determina la rapidez de difusión (recuadro 11-1). Según la ley de Fick, la rapidez de difusión es determinada por la solubilidad y peso molecular del gas, área superficial, diferencia de concentración y espesor de la membrana. Cuanto más soluble es un gas en agua, tanto más fácil es que ocurra la difusión. Oxígeno y dióxido de carbono son

ambos solubles en agua y por tanto se difunden con facilidad; de hecho, el dióxido de carbono es 20 veces más soluble que el oxígeno. El gas más abundante en la atmósfera es el nitrógeno; sin embargo, es muy insoluble en agua y por ello muy poco de él se difunde en el torrente sanguíneo. A mayor área superficial disponible para la difusión, mayor la rapidez de difusión. Las inhalaciones grandes reclutan más alvéolos, y como resultado la rapidez de difusión es mayor. A mayor diferencia de concentración del gas entre los alvéolos y la circulación pulmonar, más rápido se difundirá el gas. Dado que la sangre que viaja hacia los alvéolos está desoxigenada, siempre queda una gran diferencia de concentración de oxígeno entre los alvéolos y la circulación pulmonar. Sin embargo, la rapidez de difusión puede mejorarse si esta diferencia de concentración se eleva, por ejemplo, administrando oxigenoterapia por prescripción médica. El último factor a considerar es el espesor de la membrana. A mayor distancia que deben viajar los gases, más lenta la difusión. Afecciones como el edema pulmonar, en el que se acumula líquido en los alvéolos, incrementan el espesor de la membrana. La distancia entre alvéolos y circulación pulmonar reduce la rapidez de difusión.

Recuadro 11-1. Ley de Fick de la difusión

$$J = \frac{S}{wt_{\text{mol}}} \times A \times \frac{\Delta C}{t}$$

donde

J es la rapidez de difusión

S es la solubilidad

wt_{mol} es el peso molecular

A es el área superficial

ΔC es la diferencia de concentración

t es el espesor de la membrana

Fuente: Hickin et al. (2013).

Consideraciones clínicas

Espujo

A menudo, la enfermera tiene la responsabilidad de examinar y observar el espujo (a veces llamado flema, secreción o expectoración) que el paciente produce. Quizá deba obtener una muestra de espujo para análisis microbiológico. La enfermera debe ser capaz de realizar esas importantes tareas de manera segura y eficaz. Entre las habilidades necesarias para ello se incluyen la capacidad para distinguir entre espujo y secreciones bucales (saliva), aplicación de medidas de control de infecciones y la capacidad de documentar de manera precisa las observaciones e informar cualquier dato preocupante.

La producción de esputo es parte importante del sistema inmunitario. Tal vez se requiera preguntar al paciente sobre su producción de esputo. Las siguientes preguntas pueden ayudar a obtener información relevante:

- ¿Hay algo que lo haga producir esputo?
- ¿Cuándo lo produce?
- ¿Con qué frecuencia lo produce?
- ¿Puede describirlo? ¿Qué aspecto tiene?
- ¿Tiene su esputo algún olor particular?
- ¿Cuánto produce?
- El esputo que usted produce en este momento, ¿ha cambiado recientemente? En tal caso, hábleme de ello.

Puede ser difícil para la persona dar respuestas acerca de su producción de esputo. La enfermera puede ayudarlo pidiéndole que lo exprese en cucharaditas o cucharadas. Entender el esputo producido y describir e informar sus características –como la consistencia, cantidad producida, olor y color– ofrece mucha información acerca de la persona a la que se atiende. También se toma nota si la persona que produce el esputo lo expectora con facilidad o dificultad, y si, después de hacerlo, queda sin aliento o cianótica.

Si el paciente necesita usar una escupidera, es necesario asegurarse de que se coloque a su alcance, y que disponga de pañuelos desechables y un recipiente para colocar los usados. Desechar el esputo de manera segura ayuda a prevenir y controlar infecciones; el esputo puede ser un líquido corporal infeccioso. Las intervenciones de salud incluyen asegurar que la escupidera se cambie a diario y que la tapa esté bien cerrada cuando aquélla no se use. Esputo y pañuelos desechables usados deben eliminarse de manera cuidadosa cualquiera que sea el ambiente de cuidados. Debe contarse con escupideras desechables de un solo uso. Se requiere incineración si el esputo es infeccioso. Es necesario apearse a las políticas y procedimientos locales.

Administración de medicamentos

Oxígeno

El oxígeno es un recurso que requiere prescripción. Se le usa para tratar la hipoxemia, no la falta de aliento (disnea). No existen pruebas de que el oxígeno corrija la falta de aliento en pacientes con lecturas normales o cercanas a las normales de saturación de oxígeno.

El punto central de la oxigenoterapia es mantener una saturación de oxígeno normal o cercana a la normal, y esto debe lograrse a la concentración de oxígeno más baja posible. La meta de saturación de oxígeno en adultos con enfermedad aguda es 94 a 98%, y 88 a 92% en quienes se encuentran en riesgo de insuficiencia hipercápnica (con exceso de dióxido de carbono): esto es, pacientes que viven con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC).

El oxígeno sólo debe ser administrado por personal capacitado, y cada paciente que lo recibe debe someterse a mediciones regulares de saturación de oxígeno. Por ello es esencial tener a la mano equipo de lectura de saturación de oxígeno en el caso de todos los pacientes que reciben oxigenoterapia.

Es importante que las enfermeras usen el método de suministro correcto a fin de asegurar que el paciente reciba con precisión lo que se le prescribió. Muchas prescripciones de oxígeno indican un porcentaje. Las mascarillas Venturi aseguran que el

paciente reciba el porcentaje correcto de oxígeno mezclando aire ambiental con oxígeno puro. Están disponibles en las siguientes concentraciones (es vital asegurarse de incluir el gasto correcto para que el paciente reciba la dosis adecuada):

- 24%: 2 L de oxígeno por minuto.
- 28%: 4 L de oxígeno por minuto.
- 35%: 8 L de oxígeno por minuto.
- 40%: 10 L de oxígeno por minuto.
- 60%: 15 L de oxígeno por minuto.

Las mascarillas de oxígeno simples no lo suministran con esa precisión. Pueden proporcionar entre 40 y 60% de oxígeno con gasto de 5 a 10 L de oxígeno por minuto. Los gastos menores de 5 L de oxígeno por minuto pueden provocar la acumulación de dióxido de carbono dentro de la mascarilla. Las mascarillas de oxígeno con reinhalación pueden suministrar hasta 90% de oxígeno y son muy eficaces en situaciones de urgencia.

Las cánulas nasales aseguran un suministro estable de oxígeno en la cavidad nasal. Gastos entre 1 y 4 L de oxígeno por minuto proporcionan al paciente 24 a 40% de oxígeno. Sin embargo, el volumen real de oxígeno suministrado variará de un paciente a otro, ya que la respiración por la boca puede diluir el suministro. Gastos mayores a 4 L de oxígeno por minuto aportarán mayores concentraciones de oxígeno, pero esto puede causar sequedad nasal y molestia.

El oxígeno atmosférico está humectado. Por otra parte, el oxígeno médico es seco. Los pacientes sometidos a oxigenoterapia a largo plazo pueden experimentar sequedad nasal o bucal, con la posibilidad de molestia. En tales situaciones el equipo médico puede considerar el uso de oxígeno humectado (que se ha hecho pasar por agua).

Véase O'Driscoll *et al.* (2008).

Caso clínico

Tuberculosis pulmonar

Leonardo es un varón indigente de 28 años que vive en un albergue. Presentó tos productiva crónica la mayor parte del invierno. Una mañana el paciente presentó hemoptisis. Acudió a un centro de urgencias, donde explicó a la enfermera en turno que además presentó sudación nocturna.

Leonardo es hospitalizado con sospecha de tuberculosis pulmonar. Más tarde, los estudios con muestras de esputo y la radiografía confirman este diagnóstico. Se le administran rifampicina, isoniacida, pirazinamida y etambutol por vía oral y se le coloca en aislamiento.

La tuberculosis pulmonar es una infección de dos fases. Después de la infección inicial, el tejido pulmonar dañado es rodeado por una pared fibrosa. Después el paciente permanece asintomático y no contagioso. Sin embargo, con la reinfección, la pared fibrosa se rompe y la infección se propaga con rapidez. A menos que la persona inicie un régimen estricto con antibióticos seguirá siendo muy infeccioso. Quienes tienen un mayor riesgo de contraer tuberculosis son las personas inmunosuprimidas, los que han viajado hace poco a regiones con altas tasas de infección, quienes viven en condiciones de hacinamiento, indigentes y usuarios de drogas y alcohol.

Es esencial que los individuos con un diagnóstico de tuberculosis se apeguen a su

esquema medicamentoso de seis meses. Quienes reciben el tratamiento antibiótico recomendado dejan de ser infecciosos luego de dos semanas. Sin embargo, si una persona suspende el medicamento puede presentar tuberculosis llamada farmacorresistente.

Véase *National Institute for Health y Clinical Excellence* (2011).

Ventilación y perfusión

La respiración externa tiene la máxima eficacia cuando hay un suministro adecuado tanto de oxígeno como de sangre. Para asegurar un aporte suficiente de oxígeno los alvéolos deben estar bien ventilados. En una persona sana se requiere una ventilación alveolar por minuto, V_A , de alrededor de 4 L. A fin de asegurar que un suministro adecuado de sangre se reoxigene, debe entregarse a los pulmones un aporte abundante de sangre desde el ventrículo derecho del corazón; en otras palabras, un flujo de sangre pulmonar de unos 5 L por minuto. Este aporte ideal de cantidades adecuadas tanto de aire como de sangre se conoce como cociente de ventilación:perfusión, $V_A:Q$. Un cociente $V_A:Q$ normal sería de 4:5 o 0.8. Cualquier alteración de la ventilación o el riego sanguíneo pulmonar ocasionaría una disparidad de $V_A:Q$, y se difundiría menos oxígeno a la sangre. Por ejemplo, si alguien se hipoventila y su V_A desciende a menos de 4 L, entonces menos sangre se reoxigenará. Esto se describiría como un cociente $V_A:Q$ bajo (es decir, 3:5 o 0.3). Otro problema potencial sería un flujo sanguíneo pulmonar insuficiente, debido por ejemplo a una embolia. En tal caso, menos sangre está disponible para ser reoxigenada y el cociente $V_A:Q$ se hace elevado (esto es, 4:3 o 1.34). Sin embargo, en la realidad el cociente $V_A:Q$ difiere en las distintas partes de los pulmones y depende de la posición de la persona (Margereson, 2001).

Transporte de gases

Tanto oxígeno como dióxido de carbono se transportan desde los pulmones hacia los tejidos corporales en la sangre. Ambos gases viajan en el plasma sanguíneo y la hemoglobina, que se encuentra dentro de los eritrocitos. En la cuadro 11-4 se resume la terminología básica del transporte de gases.

Cuadro 11-4. Definiciones de terminología importante de transporte de gases

| Término de transporte de gases | Definición |
|---|---|
| Saturación de oxígeno (SaO ₂) | Porcentaje de hemoglobina arterial que transporta moléculas de oxígeno SpO ₂ = SaO ₂ medida por oximetría de pulso |
| Presión parcial de oxígeno arterial (PaO ₂) | Cantidad de oxígeno disuelto en plasma de sangre arterial medida en kilopascales |
| Presión parcial de dióxido de carbono (PaCO ₂) | Cantidad de dióxido de carbono disuelto en plasma de sangre arterial medida en kilopascales |
| Capacidad de oxígeno | Espacio potencial para oxígeno transportado por hemoglobina (Hb) por 100 mL de sangre Hb × 1.39 = capacidad de oxígeno por 100 mL de sangre |
| Contenido de oxígeno arterial (CaO ₂) | Cantidad real de oxígeno en sangre arterial transportado por hemoglobina por 100 mL de sangre arterial. Saturación arterial de oxígeno (SaO ₂) × capacidad de oxígeno = contenido de oxígeno por 100 mL de sangre arterial |
| Suministro de oxígeno (DO ₂) | Cantidad real de oxígeno que se suministra a los tejidos corporales con base en el gasto cardiaco. Contenido de oxígeno arterial (CaO ₂) × gasto cardiaco = suministro de oxígeno (DO ₂) |
| Consumo de oxígeno (VO ₂)/tasa de extracción de oxígeno | Cantidad de oxígeno utilizada por los tejidos corporales cada minuto |

Transporte de oxígeno

La mayor parte del oxígeno, alrededor del 98.5%, se transporta unida a la hemoglobina en el eritrocito (glóbulo rojo). Cada eritrocito contiene unos 280 millones de moléculas de hemoglobina, y cada molécula de hemoglobina tiene el potencial de llevar cuatro moléculas de oxígeno. El porcentaje de la hemoglobina que transporta oxígeno se mide como saturación de oxígeno

(SaO_2). El 1.5% restante de oxígeno se disuelve en el plasma sanguíneo, y a menudo se mide en kilopascales (PaO_2); en un individuo sano equivale a 11 a 13.5 kPa (82 a 101 mm Hg). Así, el suministro de oxígeno también depende de la presencia de un aporte adecuado de eritrocitos y hemoglobina. El varón promedio sano tiene entre 15 y 18 g de hemoglobina por cada 100 mL de sangre. Cada gramo de hemoglobina puede transportar unos 1.34 mL de oxígeno. Por lo tanto, un varón con 16 g de hemoglobina por dL tendría la capacidad de transportar 21.44 mL de oxígeno por cada 100 mL de sangre ($16 \times 1.34 = 21.44$). Este volumen de oxígeno se denomina capacidad de oxígeno. Sin embargo, es raro que un individuo tenga la hemoglobina completamente saturada de oxígeno. La cantidad real de oxígeno transportada por la hemoglobina es el contenido de oxígeno (CaO_2). El contenido de oxígeno es determinado por la saturación de oxígeno. En una persona sana, la saturación de oxígeno (SaO_2) sería de entre 97% y 99%. De este modo, un varón con 16 g de hemoglobina por dL y SaO_2 de 98% tendrá un contenido de oxígeno de 21.01 mL (0.98×21.44). El CaO_2 sólo indica la cantidad de oxígeno disponible por cada 100 mL de sangre. Multiplicando CaO_2 por gasto cardíaco se obtiene la cantidad de oxígeno que se suministra a todos los tejidos corporales cada minuto. Este volumen de oxígeno se denomina suministro de oxígeno (DO_2). En otras palabras, si el gasto cardíaco es de 5000 mL por minuto, el individuo antes mencionado tendrá un suministro de oxígeno (DO_2) de 1 050 mL por minuto ($21.01 \text{ mL por cada } 100 \text{ mL de sangre} \times 5 000$).

La relación entre oxígeno unido a hemoglobina arterial (SaO_2) y oxígeno disuelto en el plasma (PaO_2) es descrita por la curva de disociación de oxihemoglobina (figura 11-14). Cuando la PaO_2 desciende, la SaO_2 decrece en una curva en forma de S. Si la PaO_2 disminuye hasta 8 kPa (60 mm Hg), la SaO_2 permanecerá en alrededor de 90%. Así, las fluctuaciones naturales en la oxigenación, como ocurre cuando se canta, ríe y habla, no causarán reducciones notables en la saturación de oxígeno. La liberación de oxígeno de la hemoglobina puede incrementarse por medio del 2,3-difosfoglicerato, que se libera en caso de hipoxia y altas temperaturas.

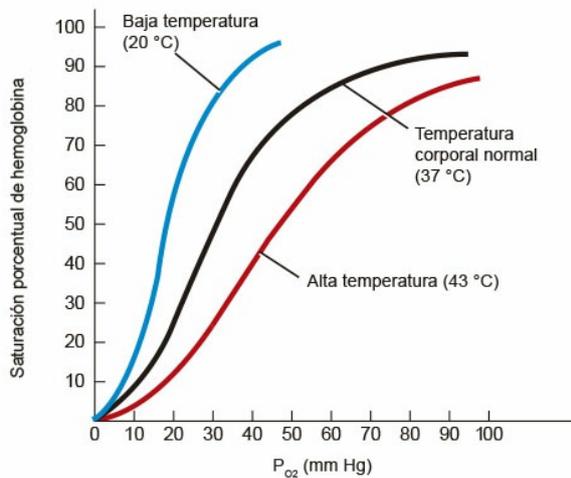
Consideraciones clínicas

Medición de los valores de oxígeno

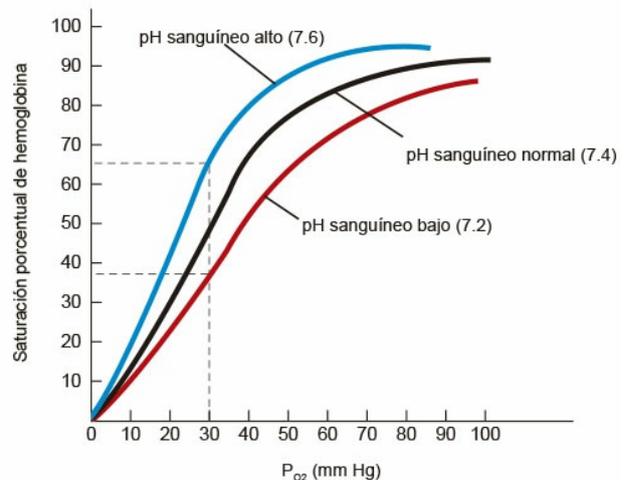
Los **oxímetros de pulso** miden el porcentaje de hemoglobina que transporta oxígeno. Esta lectura se denomina “saturación de oxígeno” (SpO_2). En una persona sana, la SpO_2 debe estar entre 95 y 99%; sin embargo, el temblor, anemia, policitemia, frialdad de extremidades y barniz de uñas pueden afectar la lectura. Debido a ello, la SpO_2 sólo debe usarse junto con otras observaciones de enfermería (Clark *et al.*, 2006).

Como una medida más exacta el personal de salud usa el valor de gases en la sangre arterial. Para obtenerlo, una muestra de sangre arterial del paciente se coloca en un analizador de gases sanguíneos, el cual emite un resultado impreso o visual en segundos. Las lecturas de gases en sangre arterial proporcionan información sobre pH, dióxido de carbono, bicarbonato y oxígeno. La saturación de oxígeno determinada por análisis de

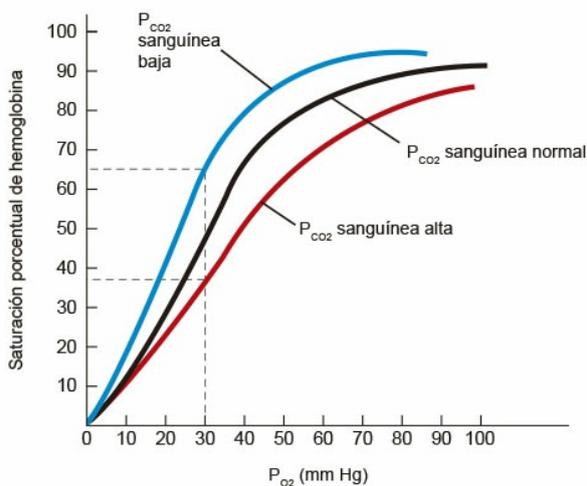
gases sanguíneos se representa como SaO_2 . Además de la saturación de oxígeno, ese análisis mide la presión ejercida por el oxígeno disuelto en el plasma. En el individuo sano, el oxígeno arterial debe ser de alrededor de 11 a 13.5 kPa (82 a 101 mm Hg) y se expresa como PaO_2 (presión parcial de oxígeno arterial).



(a) Efecto de la temperatura en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno



(b) Efecto del pH en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno



(c) Efecto de la P_{CO_2} en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno

Figura 11-14. Curva de disociación de la oxihemoglobina: (a) a temperatura corporal, valores de dióxido de carbono arterial y pH de sangre arterial normales; (b) con pH alto o bajo de la sangre arterial; (c) con valores alto o bajo de dióxido de carbono arterial. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).

Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Hipoxia e hipoxemia

La hipoxia se define como una deficiencia de oxígeno en los tejidos corporales, y la hipoxemia, como la deficiencia de oxígeno en la sangre arterial. Por supuesto, la hipoxemia desemboca en hipoxia, porque los tejidos reciben menos oxígeno. Sin embargo, como la respiración también depende de un aparato circulatorio funcional, la hipoxia también puede ocurrir aunque la sangre arterial

esté oxigenada por completo (cuadro 11-5).

Cuadro 11-5. Principales tipos de hipoxia y sus causas

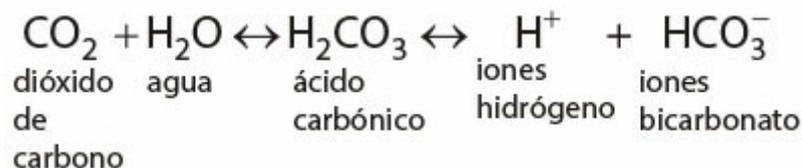
| Tipo de hipoxia | Causa |
|----------------------------------|--|
| Hipoxia estancada o circulatoria | Insuficiencia cardiaca, falta de gasto cardiaco, ocasiona hipoxia |
| Hipoxia hemática | Falta de sangre o hemoglobina (p. ej. por hemorragia) |
| Hipoxia histotóxica | Intoxicación (p. ej., por inhalación de monóxido de carbono) |
| Hipoxia de demanda | Puede ocurrir cuando la demanda de oxígeno es alta (p. ej., durante la fiebre) |
| Hipoxia hipóxica | Hipoxia que resulta de una hipoxemia |

Transporte de dióxido de carbono

Junto con el oxígeno, una pequeña cantidad de dióxido de carbono, alrededor del 10%, se transporta en el plasma. El dióxido de carbono también se transporta unido a la hemoglobina, aunque sólo alrededor del 30% viaja de esta manera. Pese a todo, la hemoglobina tiene mayor afinidad por el dióxido de carbono que por el oxígeno. En los tejidos esto facilita la liberación del oxígeno cuando se genera dióxido de carbono. Sin embargo, cuando la concentración de dióxido de carbono aumenta (hipercapnia), la cantidad de oxígeno que se une a la hemoglobina se reduce. Cualquier acumulación de dióxido de carbono afecta la curva de disociación de la oxihemoglobina, empujando la curva natural a la derecha, con el resultado de un mayor riesgo de hipoxemia. A la inversa, un descenso del dióxido de carbono (hipocapnia) tiene el efecto opuesto (figura 11-14).

Equilibrio acidobásico

La mayor parte del dióxido de carbono se transporta como iones bicarbonato (HCO_3^-). Cuando el dióxido de carbono entra en el eritrocito se combina con agua para formar ácido carbónico (H_2CO_3). El H_2CO_3 se disocia con rapidez en iones hidrógeno (H^+) y iones bicarbonato (HCO_3^-). La formación de H_2CO_3 es muy lenta en el plasma; en los eritrocitos esta reacción es acelerada por la presencia de la enzima anhidrasa carbónica. El H^+ recién producido se combina con hemoglobina, mientras que el HCO_3^- sale del eritrocito y pasa al plasma sanguíneo. Debido a ello, los valores altos y bajos de H^+ también pueden influir en la curva de disociación de oxihemoglobina (figura 11-14). Dentro de los pulmones, cuando el dióxido de carbono sale de la circulación pulmonar y pasa a los alvéolos este proceso se invierte. El transporte de dióxido de carbono como HCO_3^- se resume en la siguiente ecuación:



Debe señalarse que las flechas de doble punta indican que la reacción procede en ambos sentidos. Por ejemplo, a nivel tisular procede de izquierda a derecha, mientras que en los pulmones ocurre en el sentido opuesto.

El pH de la sangre arterial es influido sobre todo por la concentración de H^+ . Si el pH sanguíneo sale de su intervalo óptimo de 7.35 a 7.45, puede ocurrir un desequilibrio ácido-base. El aparato respiratorio puede ayudar a mantener el equilibrio ácido-base al controlar la expulsión y retención de dióxido de carbono. Cuando el pH desciende (acidosis), la frecuencia respiratoria aumenta y se expulsa más dióxido de carbono. Esto da como resultado la combinación de mayores cantidades de iones hidrógeno H^+ y iones bicarbonato HCO_3^- para formar ácido carbónico (H_2CO_3). En otras palabras, la reacción anterior procede de derecha a izquierda. Los valores de H^+ se reducen, y en consecuencia el pH aumenta. El H_2CO_3 es un ácido débil y tiene un efecto mínimo en el pH de la sangre. Si el pH sanguíneo se eleva, la frecuencia y profundidad respiratorias pueden descender, con el resultado de retención de dióxido de carbono. La reacción procede entonces de izquierda a derecha y se genera más H^+ .

Caso clínico

Insuficiencia respiratoria tipo 2

María es una mujer de 61 años que padece enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). Adquirió una infección torácica que, pese a un tratamiento con antibióticos prescrito por su médico, empeoró en forma gradual en los últimos días. María presentó disnea, confusión y desorientación crecientes. Preocupada, su hija pidió una ambulancia y

María fue llevada al departamento de urgencias. Al ingreso la enfermera notó que María presentaba un esfuerzo respiratorio débil y que su saturación de oxígeno era menor de 88%. Un análisis de gases en sangre arterial confirmó que estaba hipoxémica (valores bajos de oxígeno en la sangre arterial) e hipercápnica (valores altos de dióxido de carbono en la sangre arterial). María fue transferida de inmediato a una unidad de alta dependencia respiratoria, donde se le administró ventilación a presión positiva sin penetración corporal.

La expulsión del dióxido de carbono depende de un esfuerzo respiratorio adecuado. Las personas que viven con enfermedad respiratoria pueden presentar fatiga de los músculos de la respiración y esfuerzo respiratorio débil, lo que ocasiona la acumulación de dióxido de carbono, un fenómeno llamado insuficiencia respiratoria tipo 2. Los altos valores de dióxido de carbono pueden ocasionar confusión y desorientación y alterar el equilibrio ácido-base arterial. De hecho, los pacientes que retienen dióxido de carbono también se caracterizan por presentar acidosis respiratoria.

El dióxido de carbono retenido sólo puede expulsarse con un mayor esfuerzo respiratorio. Con la ventilación no cruenta se busca mejorar la frecuencia y profundidad de la respiración a fin de expulsar el exceso de dióxido de carbono y corregir la acidosis respiratoria.

Véase *British Thoracic Society Standards of Care Committee* (2002).

Respiración interna

El término respiración interna describe el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono entre sangre y células tisulares, un fenómeno regido por los mismos principios que la respiración externa. Las células utilizan oxígeno cuando producen su principal fuente de energía, el trifosfato de adenosina (ATP). Además de ATP, las células generan agua y dióxido de carbono. Dado que las células utilizan oxígeno en forma continua, la concentración de éste en los tejidos siempre es menor que en la sangre. De modo similar, el uso continuo de oxígeno asegura que la concentración de dióxido de carbono en el tejido siempre sea mayor que en la sangre. Cuando la sangre fluye por los capilares, oxígeno y dióxido de carbono siguen sus gradientes de presión y se difunden de manera continua entre la sangre y los tejidos (figura 11-15). La concentración de oxígeno en la sangre que fluye desde los tejidos de vuelta al corazón es relativamente baja (se dice que esa sangre está “desoxigenada”). En realidad, si se mide, la saturación de oxígeno de la sangre venosa puede ser de alrededor del 75%. Esto significa que sólo un 25% del contenido de oxígeno (CaO_2) sale del torrente sanguíneo, dejando atrás una gran parte de él. La cantidad real de oxígeno utilizada por los tejidos cada minuto se denomina consumo de oxígeno (VO_2) o cociente de extracción de oxígeno (cuadro 11-4).

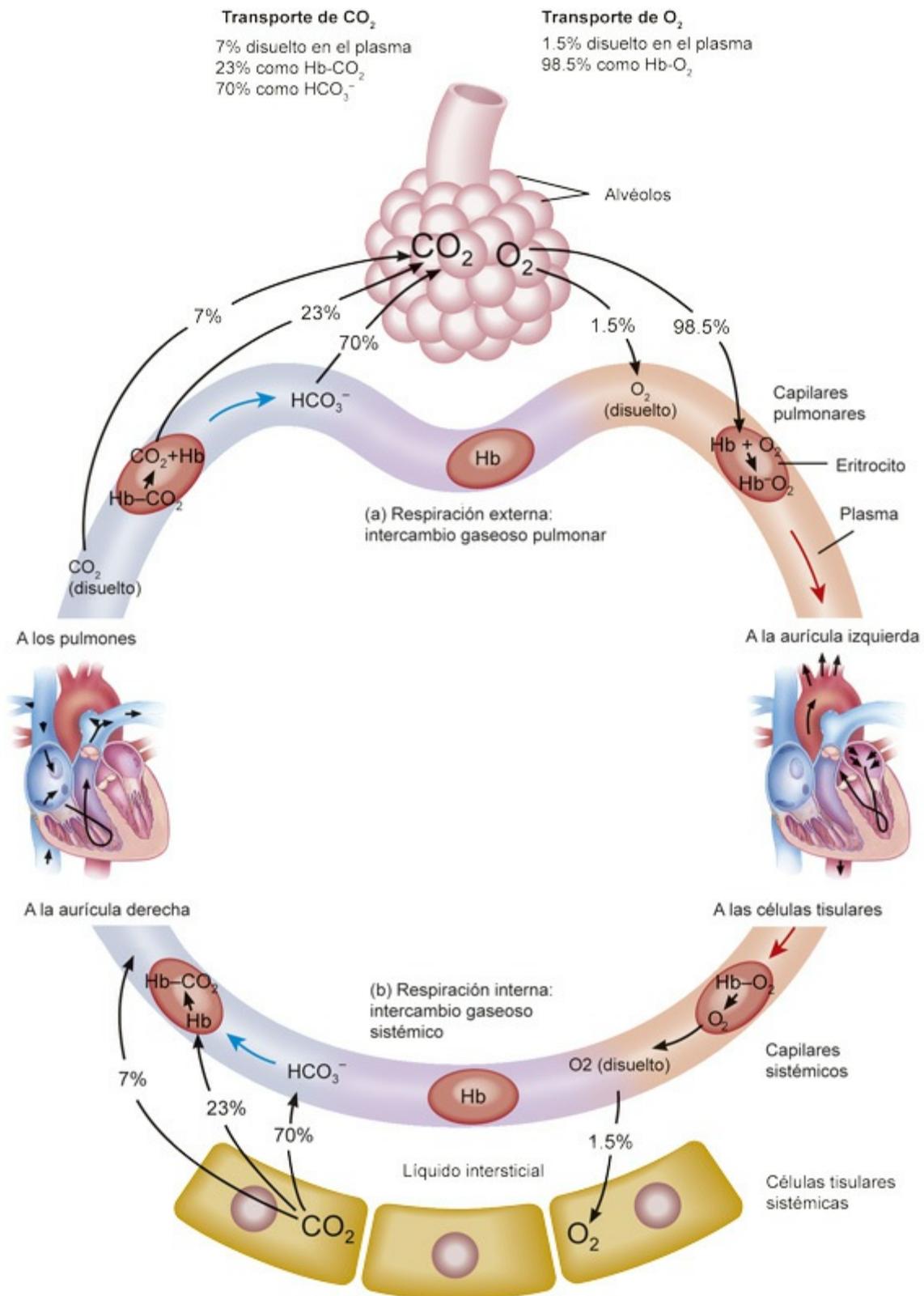


Figura 11-15. (a, b) Respiración externa e interna: oxígeno y dióxido de carbono siguen sus gradientes de presión (Hb: hemoglobina). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Conclusión

En este capítulo se examinó la anatomía y fisiología del aparato respiratorio. Éste se divide en las vías respiratorias superiores e inferiores. Las vías respiratorias inferiores consisten de tejido pulmonar y vías respiratorias principales. Las estructuras internas de las vías respiratorias inferiores son frágiles y susceptibles a la infección; por lo tanto, la función principal de las vías respiratorias superiores es proteger a las vías respiratorias inferiores. La función principal de las vías respiratorias inferiores es reoxigenar la sangre arterial y expulsar el exceso de dióxido de carbono, un proceso llamado respiración. La respiración implica cuatro procesos fisiológicos bien diferenciados: ventilación pulmonar, respiración externa (intercambio gaseoso), transporte de gases y respiración interna. Sólo los dos primeros procesos son responsabilidad exclusiva del aparato respiratorio; la respiración eficaz también depende de un aparato circulatorio funcional.

Glosario

Amígdala faríngea. Amígdala localizada en la pared posterior de la faringe. También llamada adenoides.

Amígdalas. Ganglios linfáticos situados dentro de las vías respiratorias superiores. Forman parte de la defensa del organismo.

Amígdalas linguales. Amígdalas situadas bajo la lengua.

Amígdalas palatinas. Amígdalas localizadas hacia la parte posterior de la cavidad bucal. Por lo general visibles cuando se abre la boca.

Aorta. Primer vaso sanguíneo mayor de la circulación arterial. Surge del ventrículo izquierdo del corazón.

Árbol bronquial. Vías respiratorias inferiores.

Arteria bronquial. Arteria que lleva sangre oxigenada desde la aorta hacia los bronquios y bronquiólos.

Arteria carótida Arteria principal que irriga el encéfalo; surge de la aorta.

Arteria pulmonar Arteria que transporta sangre desoxigenada desde el lado derecho del corazón hacia los pulmones.

Asma. Trastorno inflamatorio crónico de los pulmones. Hace que bronquios y bronquiólos se inflamen y constriñan. Como resultado, el flujo de aire se obstruye, lo que ocasiona la sibilancia característica.

Aspiración. Inhalación de partículas sólidas o líquidas.

Bronquíolo. Sección de las vías respiratorias inferiores situada más allá del bronquio terciario.

Bucofaringe Sección intermedia de la faringe (garganta).

Bulbo raquídeo. Estructura más baja del tallo encefálico.

Caja torácica. Armazón óseo que consiste en costillas, esternón y vértebras (columna vertebral).

Capacidad pulmonar total (CPT). Cantidad máxima de aire que los pulmones de una persona pueden contener.

Capacidad vital. Potencial máximo para la inspiración y espiración, medido en litros.

Cartílago aritenoides. Cartílago que participa en la producción de la voz.

Cartílago corniculado. Cartílago implicado en la producción de la voz.

Cartílago cricoides. Anillo de cartílago que forma la parte inferior de la laringe (caja vocal).

Cartílago cuneiforme. Cartílago que interviene en la producción de la voz.

Cartílago. Tipo de tejido conjuntivo que contiene colágeno y fibras elásticas. Soporta tanto la tensión como la compresión.

Cartílago tiroides. Pared externa de la laringe (caja vocal).

Cavidad nasal. Espacio anatómico dentro de la nariz.

Células caliciformes. Células secretoras de moco situadas en tejido epitelial.

Centro apneústico. Zona del puente de Varolio (en el tallo encefálico) que influye en la inspiración.

Centro neumotáxico. Porción del bulbo raquídeo (en el tallo encefálico) que influye en la inspiración.

Cilios. Extensiones en forma de pelos de la membrana plasmática.

Circulación sistémica. Flujo de sangre desde el ventrículo izquierdo y la aurícula derecha que suministra oxígeno a los tejidos corporales y retira dióxido de carbono de éstos.

Clavícula. Hueso largo par, situado a cada lado del cuello.

Cociente ventilación:perfusión (cociente $V_A:Q$). Cociente del suministro de sangre y de aire a los pulmones cada minuto. En forma ideal, 4 L de aire y 5 L de sangre.

Cornetes nasales. Huesos situados dentro de la cavidad nasal.

Curva de disociación de la oxihemoglobina. Curva en forma de S que describe la relación entre el volumen de oxígeno unido a hemoglobina y la cantidad de oxígeno disuelto en el plasma.

Diafragma. Músculo respiratorio cóncavo que separa los pulmones del abdomen.

Difusión. Movimiento pasivo de moléculas o iones desde una región de alta concentración a otra de baja concentración hasta que se alcanza un estado de equilibrio.

Distensibilidad pulmonar. Facilidad con que los pulmones pueden insuflarse.

Edema pulmonar. Trastorno caracterizado por el escape de líquido hacia los alvéolos.

Embolia. Bloqueo de un vaso sanguíneo por un cuerpo extraño o un coágulo.

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Término amplio que abarca bronquitis crónica, enfisema y asma crónico, enfermedades respiratorias con obstrucción del flujo de aire.

Epiglotis. Cartílago en forma de hoja que se sitúa arriba de la laringe.

Epitelio cilíndrico ciliado pseudoestratificado. Recubrimiento de la superficie interna del cuerpo que contiene cilios y células caliciformes secretoras de moco.

Epitelio escamoso estratificado no queratinizado. Tejido formado por células cúbicas o cilíndricas que recubre y protege superficies húmedas como la boca, esófago, epiglotis, lengua y vagina.

Equilibrio ácido-base Mecanismos por los cuales el organismo mantiene el pH de la sangre arterial entre 7.35 y 7.45.

Escotadura cardiaca Espacio entre el pulmón derecho y el izquierdo, ocupado por el corazón y sus principales vasos.

Esófago Vaso tubular que transporta alimento y líquido desde la faringe hasta el estómago.

Espacio muerto anatómico. Porción de las vías respiratorias no implicada en el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono (también llamada zona de conducción).

Espacio pleural. Espacio diminuto entre las pleuras visceral y parietal.

Espacios intercostales. Espacios anatómicos entre las costillas.

Esternón. Hueso plano que forma parte de la caja torácica. Protege al corazón y a los pulmones.

Etmoides. Hueso esponjoso del cráneo. Forma parte del tabique nasal.

Expectorar. Toser y arrojar moco o esputo.

Faringe. Conducto para alimento y aire, que comunica las cavidades nasal y bucal

con la laringe. En forma coloquial se denomina garganta.

Fauces. Abertura hacia la faringe desde la cavidad bucal.

Ganglios linfáticos. Masas en forma de huevo de tejido linfático que intervienen en la reacción inmunitaria.

Hipotálamo. Región del diencéfalo. Es responsable del mantenimiento de la homeostasis.

Hipoventilación. Decremento de la ventilación; entrada escasa de aire en los alvéolos.

Hipoxemia. Baja concentración de oxígeno en la sangre arterial.

Hipoxia. Baja concentración de oxígeno en los tejidos.

Inspiración por minuto (V_E). Cantidad de aire inhalada en un minuto.

Laringe. Parte de las vías respiratorias situada entre la tráquea y la faringe. Protege la entrada de las vías respiratorias inferiores y participa en la producción de la voz. También llamada caja vocal.

Laringofaringe. Sección inferior de la faringe (garganta).

Ligamento cricotiroideo. Tejido que conecta el cartílago tiroideo y el cartílago cricoides, principales estructuras de la laringe (caja vocal).

Líquido cefalorraquídeo. Líquido presente en el encéfalo y en la médula espinal.

Lobulillo. Porción muy pequeña del tejido pulmonar, irrigada por su propio capilar.

Lóbulos. Regiones bien delimitadas de los pulmones. Hay tres lóbulos en el pulmón derecho y dos en el izquierdo.

Meatos. Tres conductos situados en la cavidad nasal.

Músculos accesorios. Músculos que en condiciones normales no participan en la respiración pero que pueden utilizarse para incrementar la inspiración.

Nasofaringe. Sección superior de la faringe (garganta).

Nervio frénico. Nervio que conecta el diafragma con el centro respiratorio del tallo encefálico.

Nervio glossofaríngeo. Par craneal IV; se comunica con lengua y faringe. También transmite información sobre valores de oxígeno y dióxido de carbono.

Nervio neumogástrico. Par craneal X; nervio principal de la actividad parasimpática. También transmite información sobre valores de oxígeno y dióxido de carbono. De manera coloquial se le llama “nervio vago”.

Nervios intercostales. Nervios que vinculan el centro respiratorio del tallo encefálico con los músculos intercostales.

Olfativo. Relacionado con el sentido del olfato.

Pirexia. Temperatura elevada relacionada con la fiebre.

Pleura parietal. Membrana protectora que une las paredes del tórax a los pulmones.

Pleura visceral. Membrana protectora que recubre los pulmones.

Presión intrapulmonar. Presión ejercida por todos los gases presentes en los pulmones.

Puente de Varolio. Zona del tallo encefálico que integra las vías sensitivas y las motoras. También llamado protuberancia anular y puente troncoencefálico.

Quimiorreceptores. Células sensitivas sensibles a sustancias específicas.

Respiración externa. Proceso por el cual se intercambian oxígeno y dióxido de carbono entre los pulmones y la sangre.

Respiración interna. Proceso por el cual se intercambia oxígeno por dióxido de carbono en los tejidos.

Sistema límbico. Parte del encéfalo que procesa las emociones.

Surfactante Sustancia parecida a un detergente, producida por células de los alvéolos, que reduce la tensión superficial y aumenta la distensibilidad pulmonar.

Tabique nasal. Estructura que divide la nariz en dos narinas.

Tórax Tronco del cuerpo, arriba del diafragma y abajo del cuello.

Transporte de gases. Proceso por el cual se envían oxígeno y dióxido de carbono entre los pulmones y los tejidos.

Traqueostomía. Intervención en la que se hace un corte en la tráquea para facilitar la respiración.

Vaso linfático. Vaso que transporta linfa. Es parte del sistema linfático, que a su vez pertenece al sistema inmunitario.

Venas bronquiales. Venas que llevan sangre desoxigenada de los bronquios y bronquíolos a la vena cava superior.

Venas pulmonares. Venas que llevan sangre oxigenada desde los pulmones de regreso al lado izquierdo del corazón.

Ventilación alveolar por minuto. Cantidad de aire que llega a la porción respiratoria de los pulmones cada minuto.

Ventilación pulmonar. Proceso por el cual el aire entra y sale de los pulmones (respiración).

Vértice. Punta, o punto más alto de una estructura.

Vestíbulo. Espacio dentro de la cavidad nasal, adentro de las narinas.

Vías respiratorias inferiores. Todos los conductos respiratorios situados abajo de la laringe.

Vías respiratorias superiores. Todas las estructuras del aparato respiratorio situadas entre las cavidades bucal y nasal y la laringe.

Volumen corriente (V_T). Volumen de aire que entra y sale de los pulmones durante una respiración.

Volumen de reserva espiratorio. Capacidad potencial para exhalar más allá de lo que ocurre en una respiración normal.

Volumen de reserva inspiratorio (VRI). Capacidad potencial para la inspiración más allá de la que ocurre en una respiración normal.

Volumen residual (VR). Pequeña cantidad de aire que se encuentra en forma permanente en los pulmones.

Vómer. Hueso triangular que constituye la base de la cavidad nasal.

Zona de conducción. Sección de las vías respiratorias que no interviene en el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono (también llamada espacio muerto anatómico).

Zona respiratoria. Porción del tejido pulmonar que participa en el intercambio de oxígeno y dióxido de carbono.

Bibliografía

- Brimblecombe, P. (1986) *Air Composition and Chemistry*, 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press.
- British Thoracic Society and Scottish Intercollegiate Guidelines Network (2014). *SIGN 141: British Guideline on the Management of Asthma: A National Clinical Guideline*. London: BTS.
- British Thoracic Society Standards of Care Committee (2002) Non-invasive ventilation in acute respiratory failure. *Thorax* **57**: 192–211.
- Clark, A.P., Giuliano, K. and Chen, H. (2006) Pulse oximetry revisited: ‘but his O₂ sat was normal!’ *Clinical Nurse Specialist* **20**(6): 268–272.
- Davies, A. and Moores, C. (2003) *The Respiratory System: Basic Science and Clinical Conditions*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Hickin, S., Renshaw, J. and Williams, R. (2013) *Crash Course: Respiratory System*, 4th edn. Edinburgh: Mosby.
- Higginson, R. and Jones, B. (2009) Respiratory assessment in critically ill patients: airway and breathing, *British Journal of Nursing* **18**(8): 456–461.
- Hogan, J. (2006) Why don’t nurses monitor the respiratory rates of patients? *British Journal of Nursing* **15**(9):489–492.
- Levitzky, M.G., Cairo J.M. and Hall, S.M. (1990) *Introduction to Respiratory Care*. London: W.B. Saunders.
- Lumb, A.B. (2005) *Nunn’s Applied Respiratory Physiology*, 6th edn. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Lutgens, F.K. and Tarbuck, E.J. (2001) *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology*, 8th edn. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- MacDuff, A., Arnold, A. and Harvey, J. (2010) Management of spontaneous pneumothorax: British Thoracic Society pleural disease guideline 2010. *Thorax* **65**: ii18–ii31.
- Margereson, C. (2001) Anatomy and physiology. In Esmond, G. (ed.), *Respiratory Nursing*. Edinburgh: Baillière Tindall.
- Martini, F.H. and Nath, J.L. (2009) *Fundamentals of Anatomy and Physiology*, 8th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- McGrath, B. (2014) *Comprehensive Tracheostomy Care: The National Tracheostomy Safety Project Manual*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nair, M. and Peate, I. (2009). *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- National Institute for Health and Clinical Excellence (2011) *Tuberculosis: Clinical Diagnosis and Management of Tuberculosis, and Measures for its Prevention and Control*. NICE Guideline CG117. NICE, London.
- Ochs, M., Nyengaard, A.J., Knudsen, L. Voigt, M., Wahlers, T., Richter, J. and Gundersen, H.J. (2004) The number of alveoli in the human lung. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* **169**:120–124.
- O’Driscoll, B.R., Howard, L.S. and Davison, A.G. (2008) Guideline for emergency oxygen use in adult patients. *Thorax* **63**(supplement VI).
- Sheldon, R.L. (2005) Pulmonary function testing. In Wilkins, R.L. and Krider,

- S.J. (eds), *Clinical Assessment in Respiratory Care*, 5th edn. St Louis, MO: Elsevier Mosby.
- Simpson, H. (2006) Respiratory assessment. *British Journal of Nursing* **15**(9): 484–488.
- Talley, N.J. and O'Connor, S. (2001) *Clinical Examination: A Systematic Guide to Physical Diagnosis*, 4th edn. Oxford: Blackwell Science.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Lecturas adicionales

British Thoracic Society

<https://www.brit-thoracic.org.uk>

La página de la British Thoracic Society proporciona una gama de información y orientación clínica basadas en la mejor evidencia disponible. Su orientación es esencial para todos los profesionales de la salud que deseen brindar cuidados apegados a los criterios de referencia a sus pacientes respiratorios. La orientación de la British Thoracic Society también asegurará que el trabajo académico del lector esté actualizado.

British Lung Foundation

<https://www.blf.org.uk/Home>

La página de la British Lung Foundation ofrece abundante información para pacientes con enfermedades respiratorias. Al ingresar a este sitio el lector recibe información sobre el apoyo disponible para personas con enfermedades pulmonares, que puede ayudarlo en su práctica y sus estudios académicos.

Respiratory Education UK

<https://www.educationforhealth.org/REUK/>

La página de la Respiratory Education UK tiene vínculos con muchos cursos y fuentes de información, que el lector podría utilizar en sus estudios. También tiene preguntas y ejercicios para que el lector ponga a prueba su comprensión de los temas.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Cuál de las siguientes estructuras no se encuentra en las vías respiratorias superiores?
 - (a) Amígdalas palatinas.
 - (b) Cornetes.
 - (c) Carina.
 - (d) Fauces.
2. ¿Cuál de las siguientes estructuras se encuentra en la zona respiratoria?
 - (a) Conductos alveolares.
 - (b) Bronquiólos terminales.
 - (c) Bronquio terciario.
 - (d) Tráquea.
3. ¿Cuál de los siguientes enunciados sobre la ventilación pulmonar es cierto?
 - (a) El diafragma es responsable del 75% de la expansión torácica.
 - (b) La espiración depende de la actividad de los músculos intercostales externos.
 - (c) La presión intrapulmonar siempre es mayor que la presión atmosférica.
 - (d) El diafragma y los músculos intercostales externos son músculos accesorios importantes.
4. ¿Cuál de los siguientes enunciados sobre el trabajo respiratorio es cierto?
 - (a) El aumento del diámetro de las vías respiratorias aumenta su resistencia.
 - (b) El surfactante incrementa la tensión superficial alveolar.
 - (c) Las enfermedades pulmonares pueden aumentar el trabajo respiratorio.
 - (d) En un individuo sano, el trabajo respiratorio representa 50% del gastoenergético total del organismo.
5. ¿Dónde se ubican los centros respiratorios?
 - (a) Bulbo raquídeo y puente de Varolio.
 - (b) Hipotálamo.
 - (c) Sistema límbico.
 - (d) Corteza cerebral.
6. ¿Cuál de los siguientes podría elevar la frecuencia respiratoria?
 - (a) Aumento de la concentración de dióxido de carbono.
 - (b) Decremento de la concentración de oxígeno.
 - (c) Pirexia.
 - (d) Todo lo anterior.
7. ¿Cuál de los siguientes enunciados sobre la respiración externa es cierto?
 - (a) La concentración de oxígeno es mayor en la circulación pulmonar que en los alvéolos.
 - (b) La concentración de dióxido de carbono es mayor en los alvéolos que en la circulación pulmonar.
 - (c) El dióxido de carbono se difunde de los alvéolos a la circulación pulmonar.
 - (d) El oxígeno se difunde de los alvéolos a la circulación pulmonar.

8. La baja concentración de oxígeno en la sangre se denomina
 - (a) Hipoxemia.
 - (b) Hipercapnia.
 - (c) Hipocapnia.
 - (d) Hipoxia.
9. ¿Cuál de los siguientes puede transportarse unido a la hemoglobina?
 - (a) Oxígeno.
 - (b) Dióxido de carbono.
 - (c) Iones hidrógeno.
 - (d) Todo lo anterior.
10. La cantidad de oxígeno utilizada por las células se denomina
 - (a) Contenido de oxígeno (CaO_2).
 - (b) Suministro de oxígeno (DO_2).
 - (c) Consumo de oxígeno (VO_2).
 - (d) Capacidad de oxígeno.

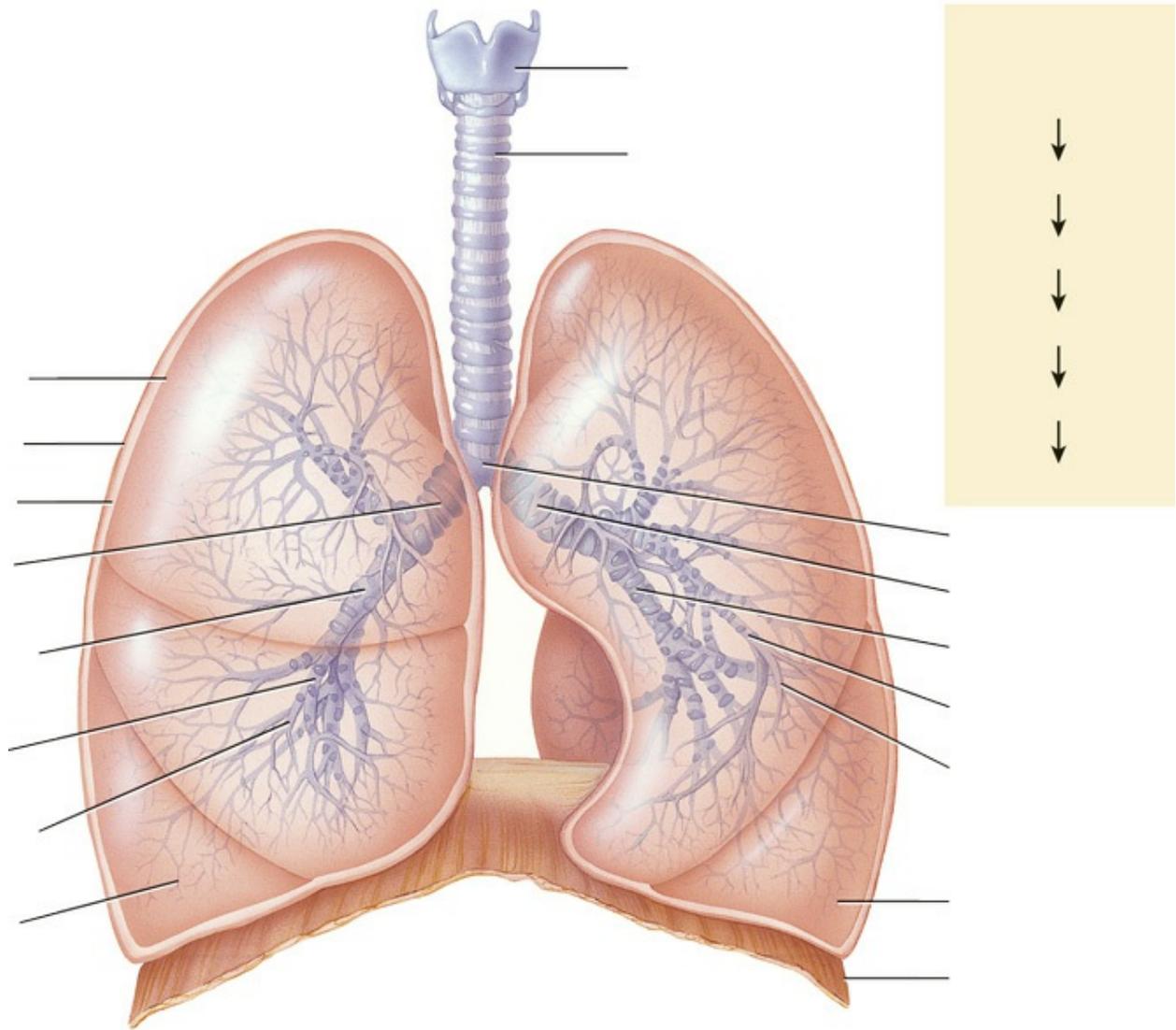
Falso o verdadero

1. La faringe se encuentra en las vías respiratorias superiores.
2. La tráquea consiste de 3 a 5 anillos de cartílago con forma de C.
3. La región conductora de los pulmones recibe sangre oxigenada de capilares que surgen de las arterias bronquiales, originadas en la aorta.
4. La ley de Boyle establece que la cantidad de presión ejercida es inversamente proporcional al tamaño de su recipiente.
5. Si el diámetro de la luz de las vías respiratorias se reduce a la mitad, la resistencia al flujo de aire aumenta 16 veces.
6. Los centros respiratorios se encuentran en el hipotálamo.
7. Se requiere alrededor de 1 min para que una molécula de oxígeno se difunda desde los alvéolos hacia la circulación pulmonar.
8. Cada eritrocito contiene unos 280 millones de moléculas de hemoglobina.
9. Alrededor de 90% del dióxido de carbono se transporta en el plasma sanguíneo.
10. La hipoxia circulatoria es causada por hipoxemia.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

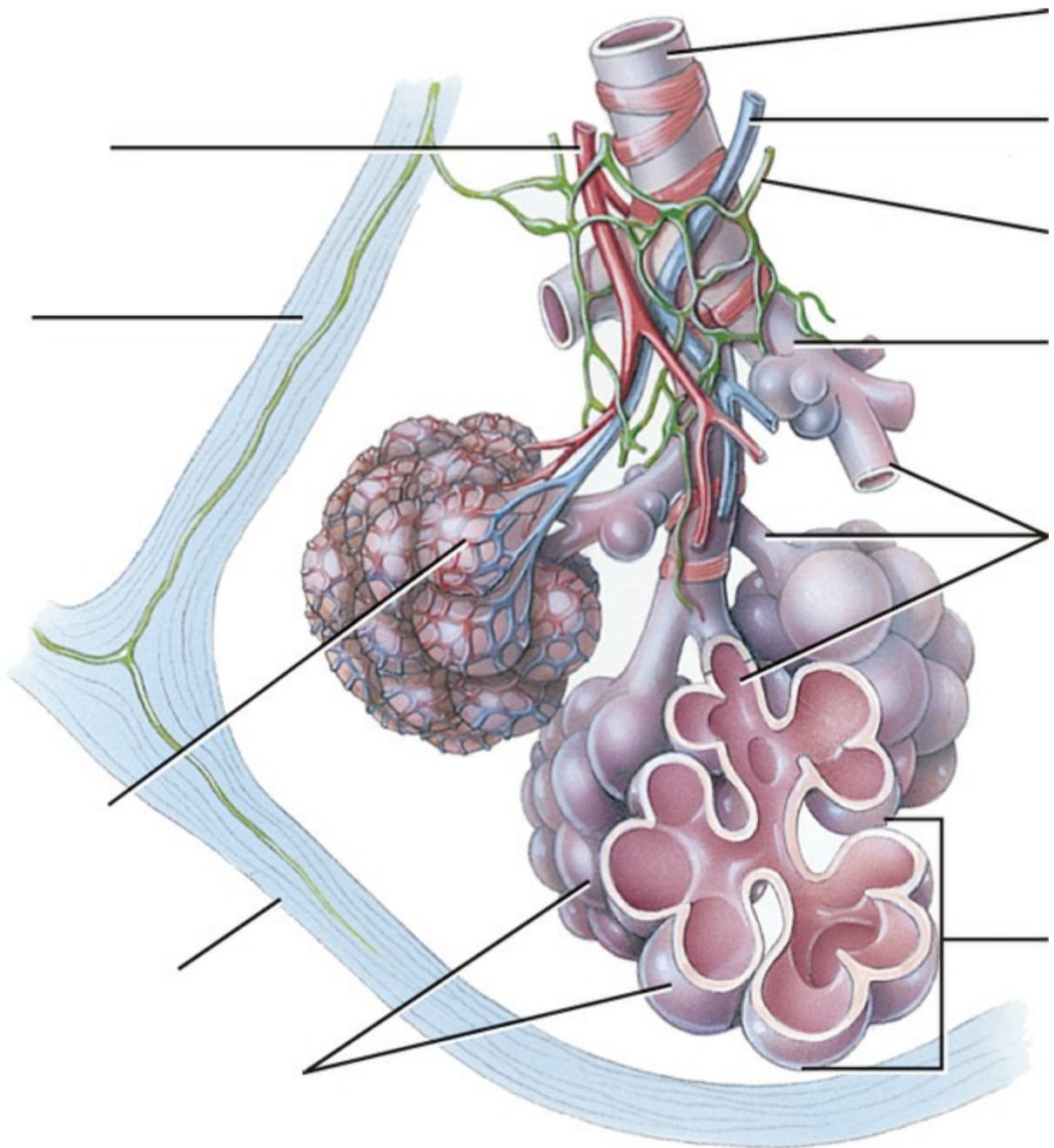
Pleura visceral, Pleura parietal, Cavidad pleural, Bronquio primario derecho, Bronquio secundario derecho, Bronquio terciario derecho, Bronquíolo derecho, Bronquíolo terminal derecho, RAMIFICACIÓN DEL ÁRBOL BRONQUIAL, Tráquea, Bronquios principales, Bronquios secundarios, Bronquios terciarios, Bronquíolos, Bronquíolos terminales, Localización de la carina, Bronquio primario izquierdo, Bronquio secundario izquierdo, Bronquio terciario izquierdo, Bronquíolo izquierdo, Bronquíolo terminal izquierdo, Diafragma, Laringe, Tráquea



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

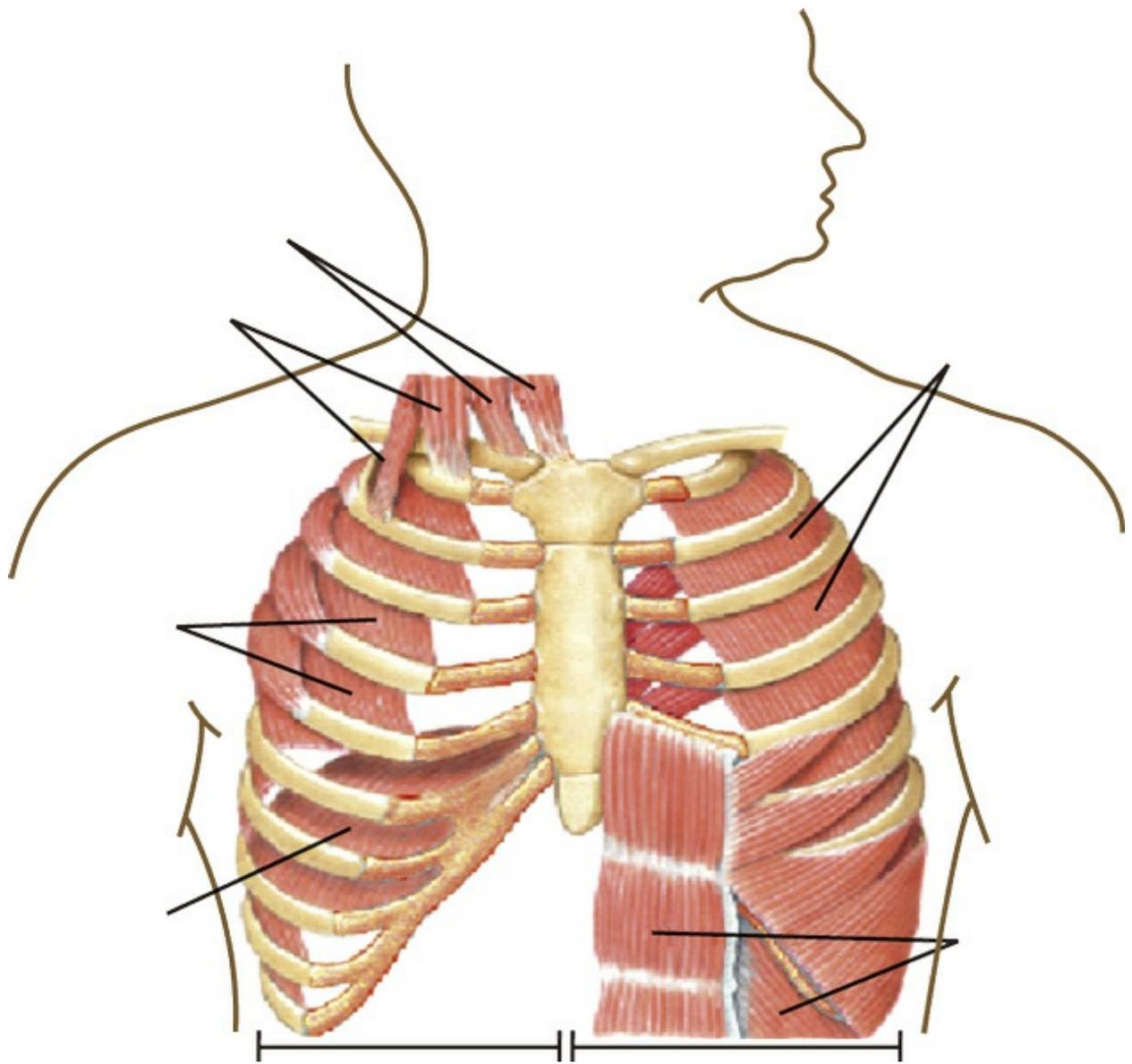
Vénula pulmonar, Tejido conjuntivo elástico, Capilar pulmonar, Pleura visceral, Alvéolos, Bronquíolo terminal, Arteriola pulmonar, Vaso linfático, Bronquíolo respiratorio, Conductos alveolares, Saco alveolar



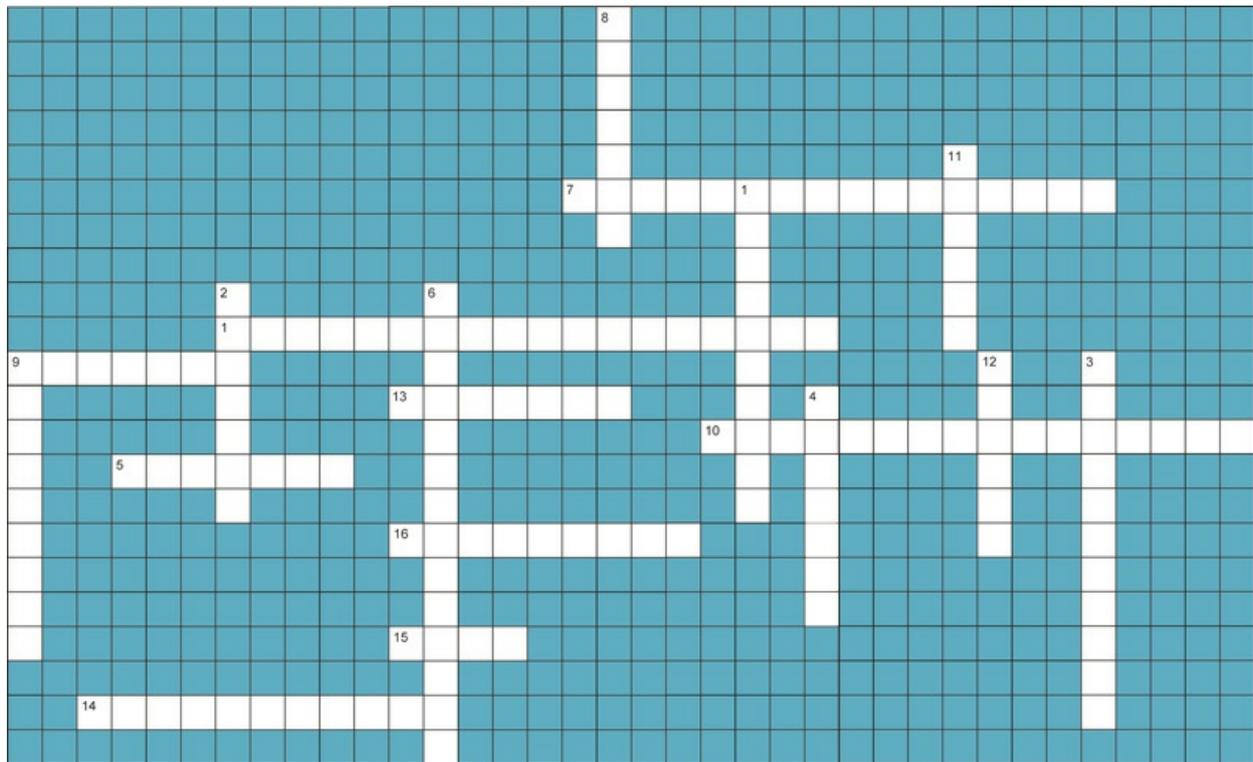
Rotule el diagrama 3

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Esternocleidomastoideos, Escalenos, Intercostales externos, Diafragma, Intercostales internos, Músculos abdominales, Inspiración, Espiración



Crucigrama



Horizontales:

1. Proceso de intercambio gaseoso (11, 7).
5. Estructura presente en un lobulillo (7).
7. Cantidad de aire inspirado y espirado durante una respiración (7, 9).
9. Disminución en la cantidad de oxígeno en los tejidos (7).
10. Gas de desecho eliminado por los pulmones (7, 2, 7).
13. Caja vocal (7).
14. Principal transportador de oxígeno en la sangre (11).
15. Ley de la difusión de _____ (4).
16. Frecuencia respiratoria elevada (9).

Verticales:

1. Exhalación (10).
2. Conecta la laringe con los bronquios (7).
3. Reduce la tensión superficial en los alvéolos (11).
4. Gas esencial para la vida (7).
6. Volumen pulmonar total menos volumen residual (9, 5).
8. El pulmón derecho tiene tres, el pulmón izquierdo tiene dos (7).
9. Decremento de la cantidad de oxígeno en la sangre (9).
11. Dificultad para respirar (6).
12. Capa protectora de los pulmones (6).

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| G | N | E | T | I | O | H | A | N | I | R | A | C | D | S |
| A | O | D | S | V | J | T | X | R | C | W | K | L | I | M |
| S | I | O | I | P | Y | L | U | I | U | K | L | O | O | M |
| E | C | X | O | F | I | I | A | P | Y | E | C | V | X | G |
| N | A | I | O | C | U | R | D | R | S | X | L | E | I | B |
| O | L | G | U | P | H | S | O | G | I | E | B | P | D | A |
| M | I | E | T | R | I | N | I | M | W | N | D | O | O | A |
| L | T | N | E | R | F | H | S | O | E | K | G | L | D | I |
| U | N | O | E | D | X | O | D | T | N | T | D | E | E | M |
| P | E | N | R | Y | L | F | G | H | J | N | R | H | C | E |
| A | V | B | R | O | N | Q | U | I | O | L | O | I | A | X |
| Z | R | Y | E | I | T | R | A | Q | U | E | A | H | A | O |
| X | V | V | O | R | O | P | H | A | R | Y | N | X | B | P |
| R | L | S | U | R | F | A | C | T | A | N | T | E | O | I |
| A | D | N | O | I | C | A | R | I | P | S | E | R | N | H |
| T | R | A | E | G | N | I | R | A | F | O | C | U | B | P |

Alvéolos, Bronquiolo, Dióxido de carbono, Carina, Difusión, Hipoxemia, Hipoxia, Laringe, Pulmones, Bucofaringe, Oxígeno, Pleura, Respiración, Espirometría, Surfactante, Espujo, Tráquea, Ventilación

Llene los espacios

Los pulmones se dividen en regiones bien delimitadas llamadas _____. El corazón se aloja en un espacio denominado _____, que se encuentra entre ambos pulmones. Cada pulmón es protegido por dos membranas, las _____ y parietal. Las vías respiratorias inferiores comienzan en la _____. En el punto llamado _____ las vías respiratorias se subdividen en los _____ derecho e izquierdo, que vuelven a dividirse en los _____. La siguiente rama del árbol bronquial son los _____, todos los cuales desembocan en una red de _____. Al fin las vías respiratorias terminan en un _____. De este punto en adelante esta región de las vías respiratorias recibe el nombre de _____. Dentro de esta región las vías respiratorias se subdividen aún más en _____, _____ y _____.

escotadura cardiaca, conductos respiratorios, bronquios principales, visceral, bronquios terciarios, tráquea, alvéolos, carina, bronquíolos, lóbulos, lobulillo, bronquios secundarios, pleuras, bronquiolo terminal, bronquíolos respiratorios

Para profundizar

1. ¿Cómo se realiza una traqueostomía y por qué podría necesitarla un paciente?
2. Elabore una lista de las que considere las evaluaciones respiratorias clave que la enfermera debe realizar.
3. Comente el impacto que la falta de aliento (disnea) puede tener en el bienestar psicológico del individuo.
4. ¿Cuál es la función de la enfermera en la atención de un paciente con insuficiencia respiratoria aguda?
5. Comente la función de la enfermera para reducir el impacto de las enfermedades respiratorias en la comunidad.
6. ¿Qué debe aconsejar la enfermera a los pacientes a quienes se prescribe tratamiento con broncodilatador y esteroides?
7. Investigue sobre las lecturas de gases en sangre arterial. ¿Por qué podrían ser útiles para las enfermeras que trabajan en ambientes de alta dependencia o cuidados intensivos?
8. ¿Cuáles serían las intervenciones clave de enfermería en la atención de un paciente con neumotórax?
9. ¿Cuál es la función de la enfermera y otros profesionales de la salud en la prevención de la neumonía nosocomial?
10. Comente la función del nutriólogo o dietista en la atención de un paciente con enfermedad respiratoria crónica.

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con el aparato respiratorio. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Asma

Enfermedad pulmonar obstructiva crónica

Tuberculosis pulmonar

Cáncer pulmonar

Fibrosis quística



Capítulo 12

Aparatos reproductores

Ian Peate

Ponga a prueba sus conocimientos previos

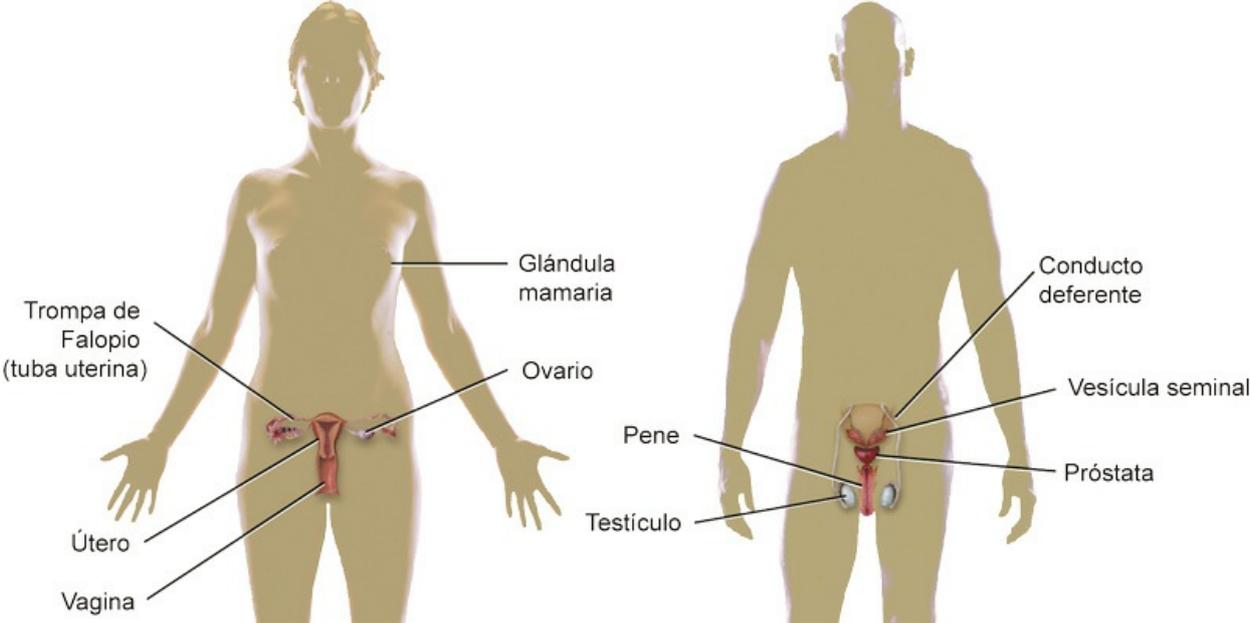
- ¿Dónde ocurre la fecundación?
- ¿Cómo se llaman las proyecciones digitiformes que se encuentran al final de las trompas de Falopio?
- ¿Cómo se llama el órgano reproductor masculino?
- ¿Por qué el contenido del saco escrotal se encuentra fuera de la cavidad abdominal?
- ¿Cómo se llama la capa interna del útero?
- Describa la función de la hormona testosterona
- ¿En cuál etapa del ciclo menstrual es más probable que una mujer se embarace?
- ¿Cuál es el término para la extirpación de útero, ovarios y trompas de Falopio?
- ¿Cuál es la función de la próstata?
- ¿Cuáles son las funciones de los testículos?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir los órganos reproductores masculinos
- Describir los órganos reproductores femeninos
- Comprender las funciones del aparato reproductor masculino
- Comprender las funciones del aparato reproductor femenino
- Exponer un panorama general de las funciones de las diversas hormonas relacionadas con los aparatos reproductores masculino y femenino
- Delinear las fases del ciclo menstrual

Mapa del cuerpo



Introducción

En el varón y en la mujer, el aparato reproductor es el único que difiere en estructura y función. En determinados momentos de la vida de una persona, el aparato reproductor es el único que experimenta cambios específicos.

La reproducción es uno de los atributos más importantes y esenciales de los seres vivos; todos los organismos se multiplican para formar nuevos individuos de su misma especie mediante la reproducción.

Una generación de organismos da origen a la siguiente generación cuando se reproduce. La reproducción es un proceso esencial para la vida de la especie (McGuinness, 2013). En el ser humano, la reproducción es sexual; esto significa que los niños se generan como consecuencia de la relación sexual entre un varón y una mujer.

La fecundación ocurre dentro del cuerpo de la mujer; los órganos sexuales humanos están diseñados para ello. Los aparatos reproductores no funcionan de manera aislada; trabajan junto con otros aparatos y sistemas para mantener la homeostasis.

La reproducción sexual suele concluir con la producción de hijos para continuar la existencia de la especie, y para transmitir características hereditarias de una generación a la siguiente. Los aparatos reproductores masculino y femenino contribuyen a los procesos que llevan a la fecundación. Cuando ésta ha ocurrido, los órganos reproductores femeninos asumen la responsabilidad del desarrollo y cuidado del nuevo ser humano y su nacimiento. Los testículos y ovarios producen espermatozoides y óvulos, respectivamente, así como las hormonas requeridas para el desarrollo, mantenimiento y desempeño de los órganos de la reproducción y otros órganos y tejidos.

En este capítulo se presenta un panorama general de la estructura y las funciones de los aparatos reproductores masculino y femenino. La anatomía del aparato reproductor, como la de ningún otro aparato o sistema del cuerpo, difiere entre el varón y la mujer (McGuinness, 2013).

Los aparatos reproductores masculino y femenino están constituidos por los órganos reproductivos. En el varón estos órganos son los testículos, conductos accesorios, glándulas accesorias, pene y otros. En la mujer también está el útero, trompas de Falopio, ovarios, vagina y vulva.

Aparato reproductor masculino

El aparato reproductor masculino, que en su mayor parte está fuera del cuerpo, es más evidente que el femenino; sin embargo, hay estructuras internas y externas. Los órganos reproductores masculinos, que trabajan al unísono con otros aparatos y sistemas del organismo (p. ej. el sistema neuroendocrino), producen las hormonas esenciales para el desarrollo biológico y la conducta, el desempeño y las acciones sexuales. En el varón, entre estos órganos también se cuentan algunos que son decisivos para el funcionamiento del aparato urinario. El aparato reproductor masculino se muestra en la figura 12-1.

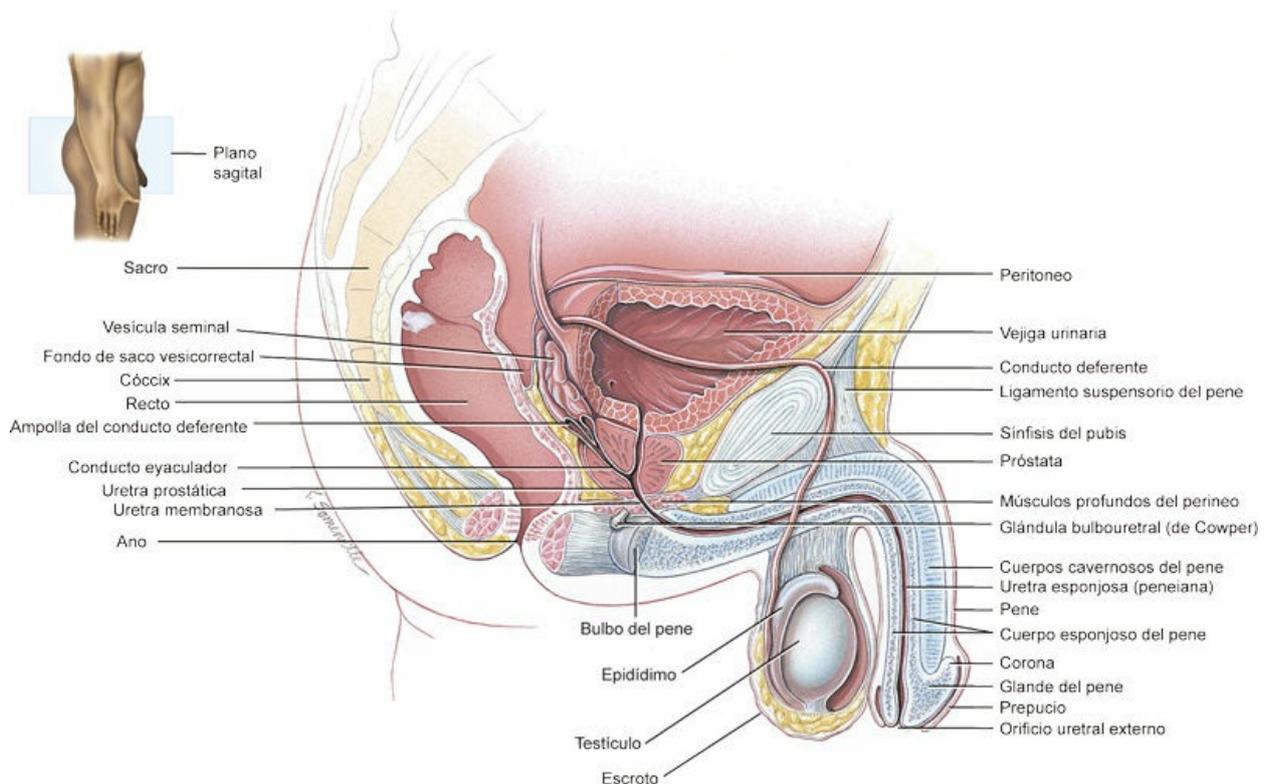


Figura 12-1. Aparato reproductor masculino. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El aparato reproductor masculino tiene varias funciones:

- Producir, mantener y transportar los espermatozoides (células reproductivas masculinas) y el semen.
- Expulsar los espermatozoides por el pene.
- Producir y secretar las hormonas sexuales masculinas.

Las principales estructuras del aparato reproductor masculino son los genitales externos, que comprenden testículos, pene, escroto, conducto reproductor y varios conductos encargados del transporte de los espermatozoides desde los testículos hasta el pene y fuera del cuerpo; hay también dos vesículas seminales, dos glándulas bulbouretrales y la próstata.

Testículos

In utero los testículos se desarrollan en la cavidad abdominal del feto. Luego atraviesan el conducto inguinal, para entrar en el saco escrotal. Los testículos están suspendidos dentro del saco escrotal, uno a cada lado del pene, y es común y normal que uno esté más bajo que el otro. Para que los espermatozoides sean viables es esencial que su producción se realice a una temperatura más baja que la temperatura normal del organismo, y por ello los testículos están fuera del cuerpo en el saco escrotal.

Las funciones clave de los testículos son:

- Producir espermatozoides (células espermáticas).
- Producir las hormonas sexuales masculinas (p. ej., testosterona).

Los testículos son pequeños órganos ovalados, que miden unos 5 cm de largo y 2.5 cm de ancho, con una capa de tejido conjuntivo fibroso seroso que los rodea. Hay tres capas que cubren los testículos:

1. Túnica vaginal.
2. Túnica albugínea.
3. Túnica vascular.

Los testículos están divididos en unos 250 a 300 compartimientos o lobulillos. Dentro de cada compartimiento hay tubos enrollados que reciben el nombre de túbulos seminíferos. Suele haber entre 1 y 4 túbulos seminíferos, y es en ellos donde se producen los espermatozoides en la forma de células madre espermáticas (figura 12-2). Entre los túbulos hay espacios ocupados por grupos de células, llamadas células de Leydig, que sintetizan y secretan la hormona testosterona, así como otros andrógenos.

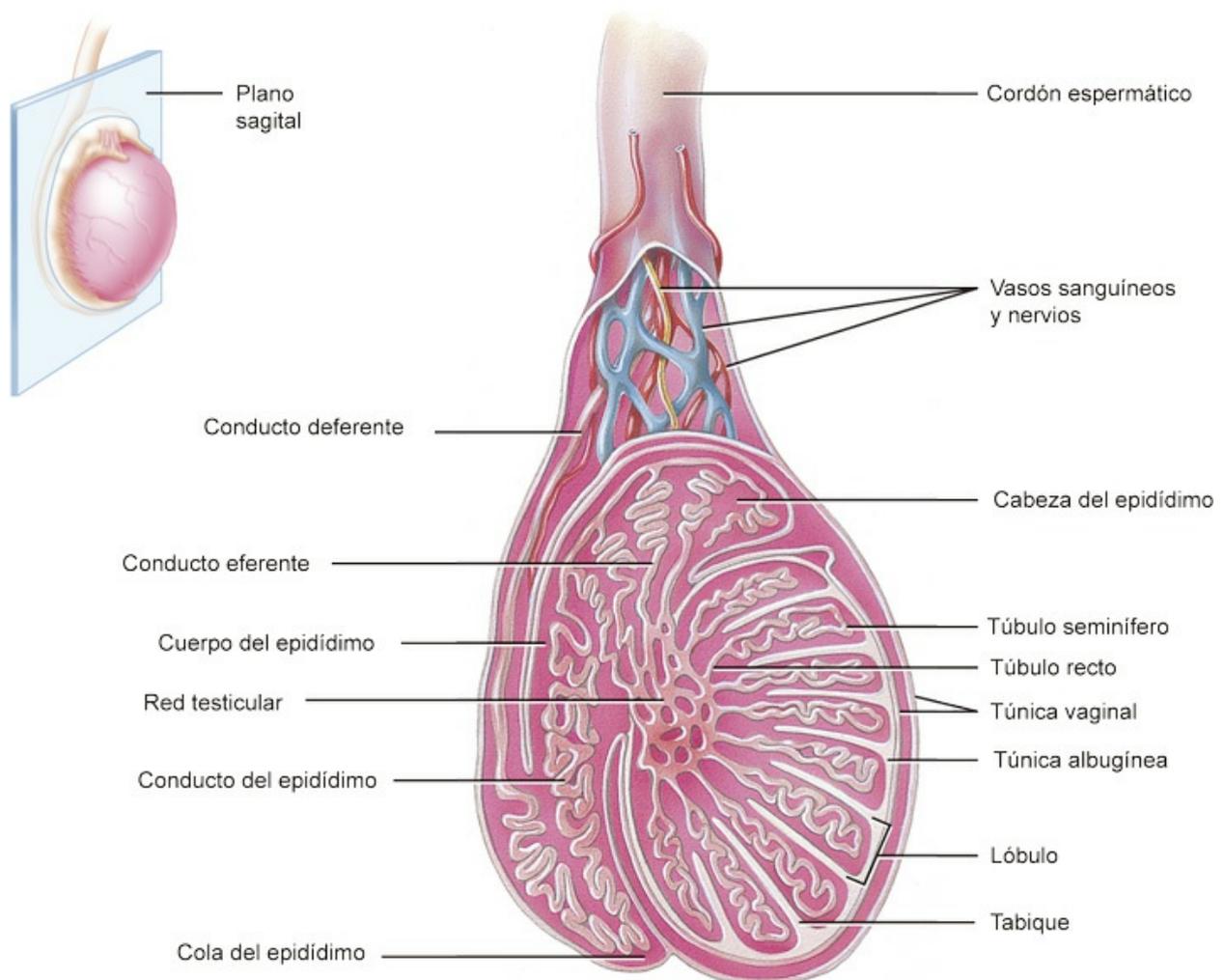


Figura 12-2. Testículo; se muestran los túbulos seminíferos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los túbulos seminíferos tienen una capa externa y una interna. La capa externa está formada a su vez por una capa lisa de células musculares y una capa epitelial interna de células denominadas células de Sertoli. Las células espermáticas, en sus diversas fases de desarrollo, se almacenan en los espacios entre las células de Sertoli. Los espermatozoides maduros se encuentran en la luz de los túbulos seminíferos. La función clave de las células de Sertoli es nutrir y controlar el espermatozoide en desarrollo; dichas células en ocasiones se denominan células sustentaculares porque dan soporte estructural y metabólico a los espermatozoides. Además de la anterior tienen varias otras funciones, incluidas fagocitosis, secreción de un líquido que favorece el desarrollo y transporte de los espermatozoides, y aporte de un medio donde los espermatozoides en desarrollo pueden nutrirse.

Consideraciones clínicas

Criptorquidia

La falta de descenso de los testículos (criptorquidia) es una situación común de la niñez en

la cual el niño nace sin que los testículos hayan descendido al saco escrotal. En la mayoría de los casos no se requiere tomar medidas, ya que los testículos migrarán al escroto en los primeros 3 a 6 meses. Existen sin embargo algunos casos en que los testículos permanecen sin descender a menos de que se les trate. La criptorquidia no causa problemas de salud de inmediato; los padres deben informar al médico si en cualquier momento notan que los testículos del niño no se encuentran en el saco escrotal.

In utero los testículos se desarrollan dentro del abdomen del niño antes de descender en forma lenta al saco escrotal durante los dos meses previos al nacimiento. No se comprende del todo la causa exacta del porqué algunos niños nacen sin que los testículos hayan descendido, pero entre los factores de riesgo que se han identificado se incluye una relación con bajo peso al nacer, prematurez (antes de la semana 37 de la gestación) y un antecedente familiar de criptorquidia.

En la mayoría de los casos, los testículos descienden al escroto de modo natural; si ello no ocurre con uno o ambos testículos, suele recomendarse el tratamiento quirúrgico (p. ej., orquidopexia). Los niños con criptorquidia pueden tener problemas de fecundidad, además de mayor riesgo de cáncer testicular.

Espermatogénesis

La producción de espermatozoides ocurre en los túbulos seminíferos de los testículos y se denomina espermatogénesis (figura 12-3). La espermatogénesis suele iniciar hacia la pubertad y continúa por el resto de la vida del varón. Es usual que un varón joven sano produzca muchos cientos de millones de espermatozoides al día.

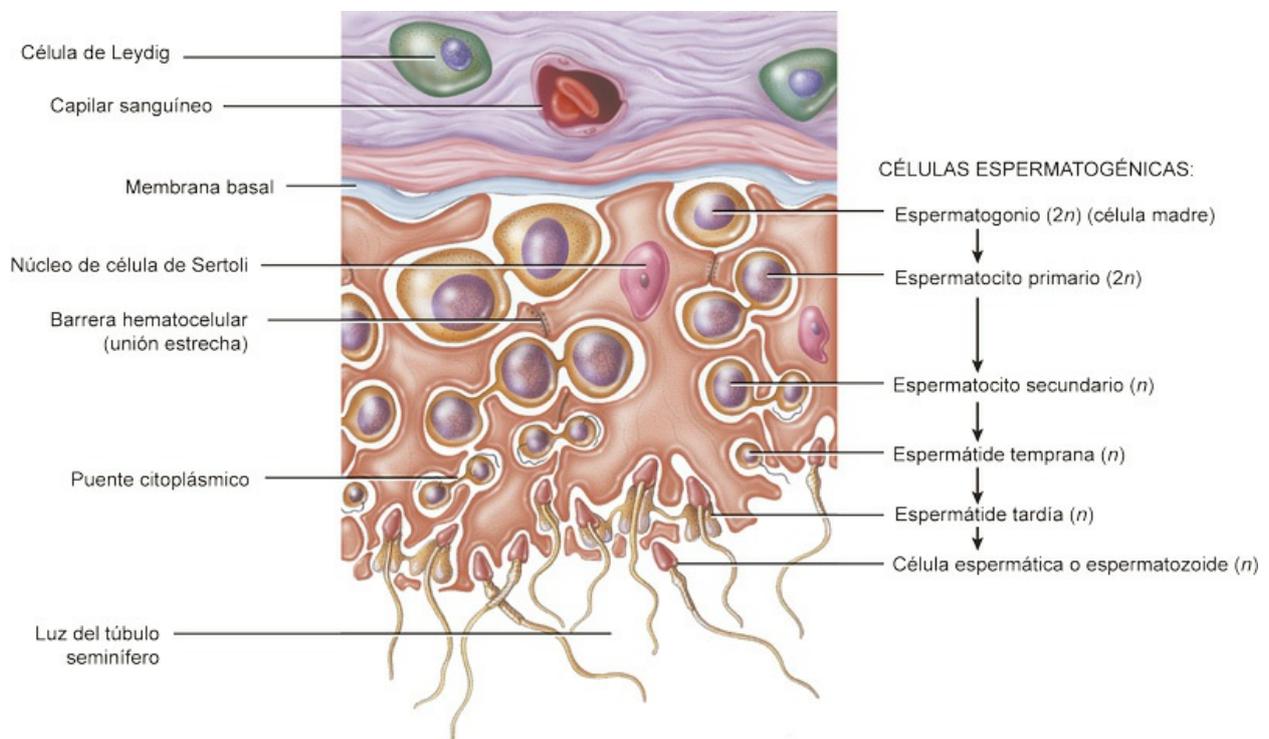


Figura 12-3. Etapas de la espermatogénesis. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La espermatogénesis es un proceso complejo; se ha estimado que tarda

alrededor de 65 a 75 días en completarse. En la figura 12-3 se pone de relieve el hecho de que la espermatogénesis (el ciclo de vida de un espermatozoide individual) comienza con los espermatogonios, que contienen el número diploide de cromosomas ($2n$).

Los espermatogonios se dividen en forma continua mediante división mitótica para producir las células llamadas espermatocitos primarios, con 46 cromosomas. Algunos espermatogonios permanecen cerca de la membrana basal del túbulo seminífero, y actúan como reserva de células preparadas para participar en una futura producción de espermatozoides.

La división vuelve a ocurrir como resultado del escape de algunos espermatogonios de la membrana basal, que se desarrollan, diferencian y cambian. Se producen espermatocitos primarios con 46 cromosomas. Entonces ocurre la meiosis, con el surgimiento de espermatocitos secundarios que ahora tienen cada uno 23 cromosomas.

En la siguiente etapa de la división celular se producen espermatídes, que se convierten en espermatozoides; esta etapa es la fase final de la espermatogénesis. Los espermatozoides formados tienen cada uno 23 cromosomas, que es la mitad del número requerido para comenzar el desarrollo humano. Los otros 23 cromosomas que se requieren son aportados por el óvulo de una mujer. Cuando el espermatozoide y el óvulo se unen (concepción), el óvulo fecundado adquiere los 46 cromosomas requeridos.

Los espermatozoides se liberan de las células de Sertoli y entran en la luz de los túbulos seminíferos. Son empujados a lo largo de los diversos conductos que existen en los testículos.

Espermatozoides

Unos 300 millones de espermatozoides maduran cada día (Tortora y Derrickson, 2012). Cada célula espermática suele estar equipada con diversas estructuras que le permiten penetrar el óvulo. La cabeza del espermatozoide contiene un líquido con enzimas, que ayudan al espermatozoide en su trabajo de penetración que llevará a la fecundación (figura 12-4).

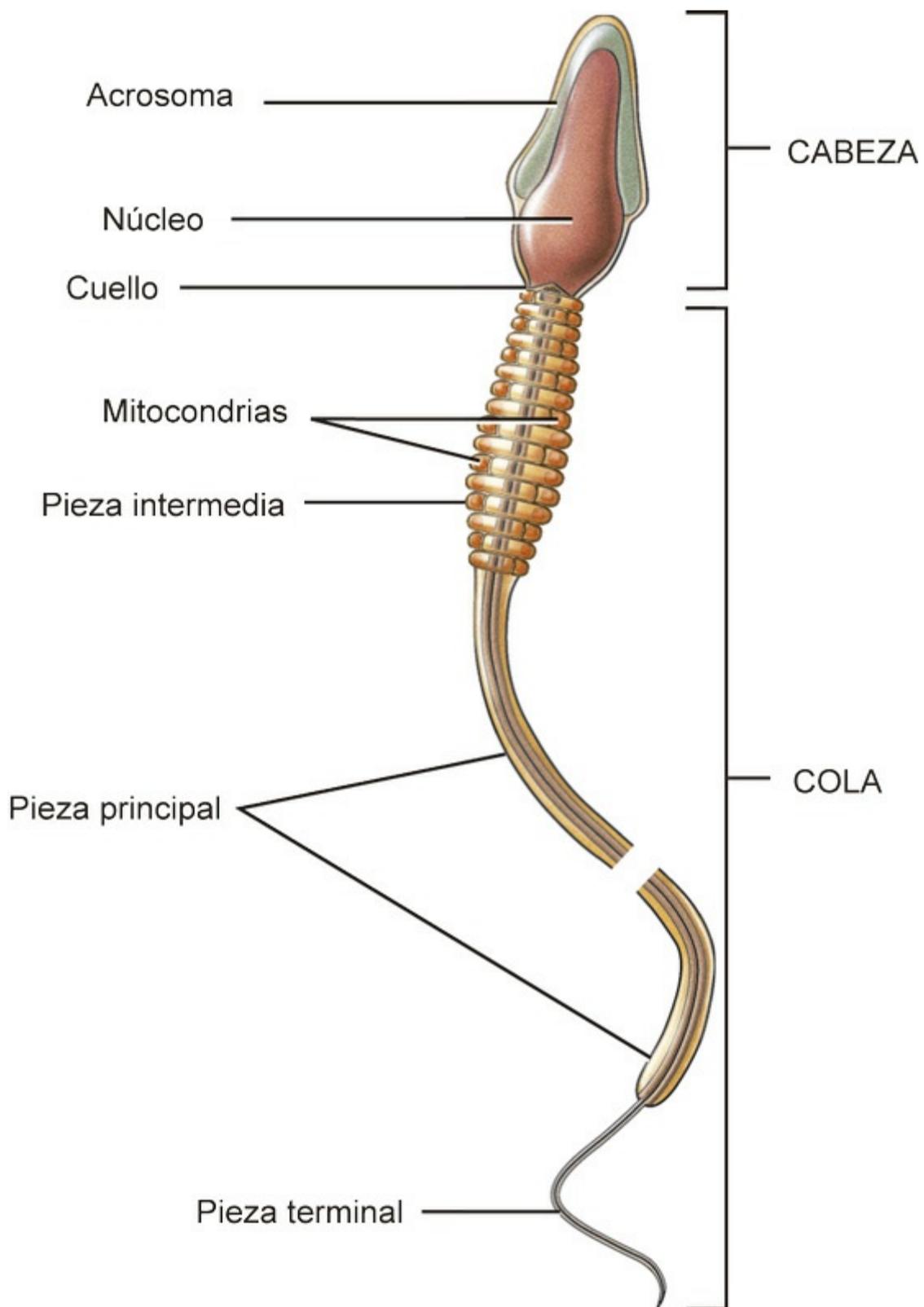


Figura 12-4. Componentes de un espermatozoide. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Una vez que se forman los espermatozoides, viajan por el epidídimo a través de un sistema de conductos muy pequeños, la llamada red testicular. Estos pequeños conductos son estructuras en forma de C que se unen en la parte posterior del epidídimo, situado en la cara superior del testículo. El epidídimo,

enrollado y en forma de luna creciente, es el lugar de contención donde los espermatozoides maduran, reciben nutrimentos y crecen durante unas semanas antes de seguir viajando. Cuando han madurado más, adquieren la capacidad de moverse de manera espontánea y activa (motilidad).

La etapa final del desarrollo de los espermatozoides es su llegada al conducto deferente. El conducto deferente se origina en el epidídimo y gira más allá de la sínfisis del pubis y la vejiga urinaria. Dos conductos deferentes surgen de cada testículo; se unen en la parte posterior de la vejiga. Cada conducto deferente se fusiona con una vesícula seminal; esta vesícula contiene los líquidos necesarios en el momento de la eyaculación. Los líquidos de conductos deferentes y vesículas seminales se liberan en los conductos eyaculadores, que se localizan dentro de la próstata.

La próstata también secreta en el eyaculado un líquido alcalino lechoso que aporta un ambiente propicio para que los espermatozoides sobrevivan, en preparación para su supervivencia en la acidez de la vagina. Los conductos eyaculadores se conectan con la uretra, donde los espermatozoides serán eyaculados durante el orgasmo como resultado del coito o la masturbación. Una vez que los espermatozoides se eyaculan es raro que sobrevivan más de 48 h en el conducto reproductor femenino.

Testículos e influencias hormonales

El desempeño de los testículos y su capacidad de funcionar de manera eficaz también están influidos por varias hormonas: las hormonas sexuales masculinas o andrógenos. La mayoría de los andrógenos se producen en los testículos, aunque la corteza suprarrenal (en la glándula suprarrenal) sintetiza una pequeña cantidad. La testosterona es el principal andrógeno producido por los testículos. Esta hormona es esencial para el crecimiento y mantenimiento de los órganos sexuales masculinos y los caracteres sexuales secundarios (p. ej., tono de voz, musculatura y vello corporal) y para una espermatogénesis eficaz. También favorece el metabolismo, crecimiento de músculos y hueso, y libido (deseo sexual).

Los testículos secretan una pequeña cantidad de testosterona *in utero*; después del nacimiento, el varón secreta poca testosterona hasta que alcanza la pubertad. Con el inicio de la pubertad el hipotálamo intensifica su secreción de la hormona liberadora de gonadotropina (GnRH). Cuando se libera GnRH, esto estimula a la adenohipófisis para liberar y aumentar la producción de hormona luteinizante (LH). Estas hormonas actúan en sistemas de retroalimentación negativa para controlar la secreción de testosterona en la sangre y la producción de espermatozoides (espermatogénesis) (figura 12-5).

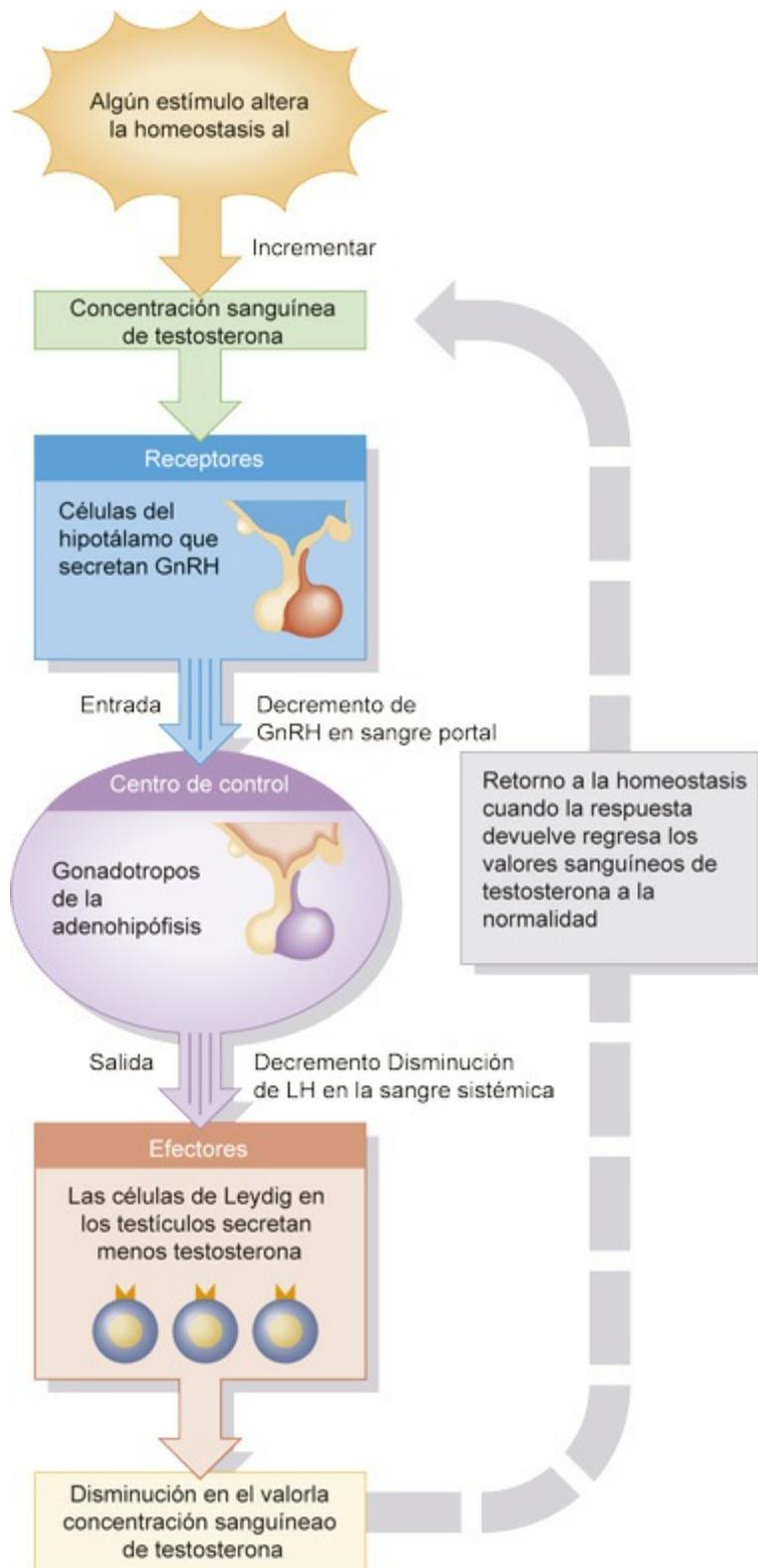


Figura 12-5. Sistema de retroalimentación negativa que controla la testosterona en la sangre. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Escroto

El saco escrotal es semejante a una bolsa laxa de piel suspendida entre los muslos, anterior al ano; es una estructura de sostén suspendida de la raíz del

pene. Desde el exterior, el escroto aparece como un único saco de piel separado en dos porciones por un borde en la parte media, llamado rafe. En el interior, el escroto se divide en dos sacos separados por el tabique escrotal, con un testículo cada uno (figura 12-6).

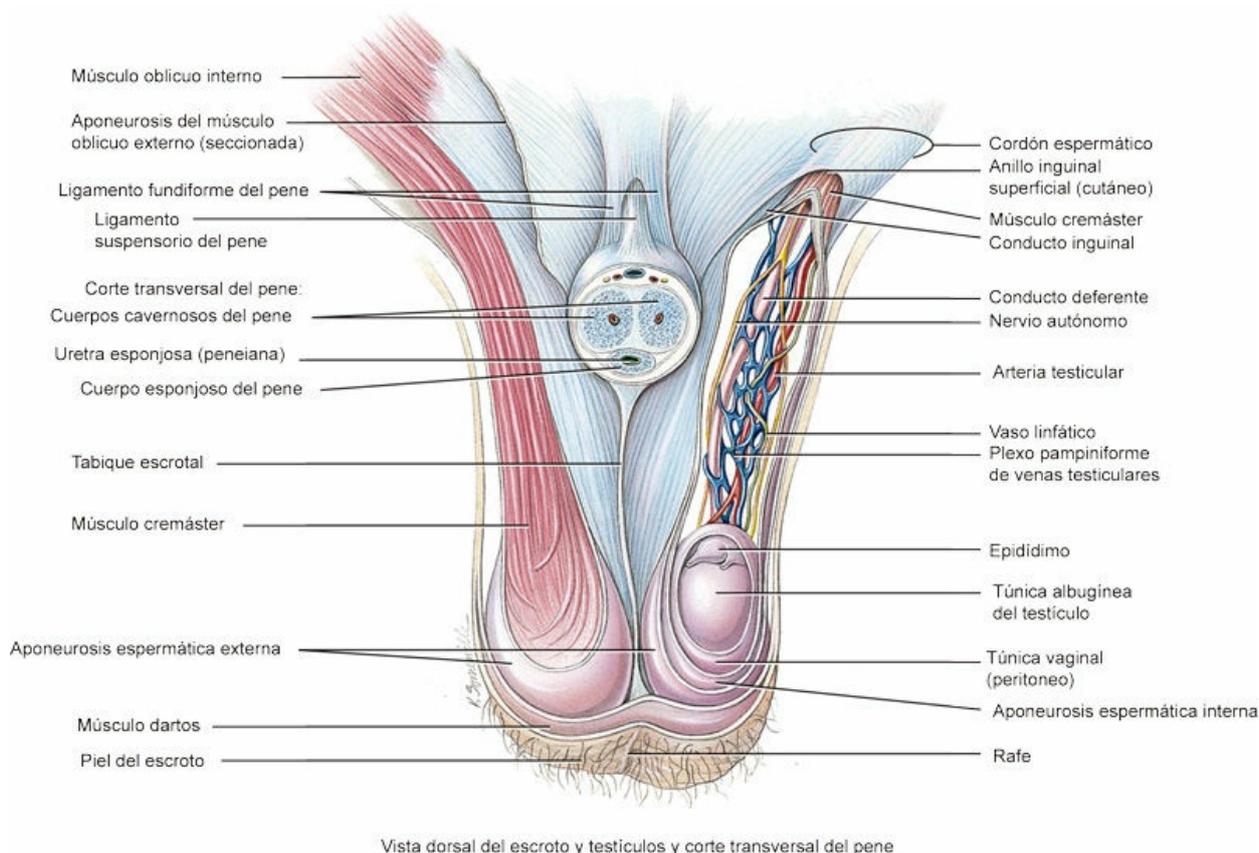


Figura 12-6. Escroto y testículos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El escroto ayuda a controlar la temperatura de los testículos. La temperatura más favorable para la producción de espermatozoides es unos 2 o 3 °C menos que la temperatura central corporal; sin embargo, una temperatura demasiado baja también puede afectar la espermatogénesis.

Varios mecanismos intervienen para ajustar la posición de los testículos en el escroto en relación con el cuerpo. Cuando la temperatura de los testículos es demasiado baja (si el entorno está muy frío), el escroto reacciona de modo que se contrae, acercando los testículos al cuerpo. A la inversa, si la temperatura testicular es muy alta, entonces el escroto se relaja, permitiendo a los testículos descender, con lo que se alejan aún más del cuerpo, exponiendo una mayor área superficial y permitiendo una dispersión más rápida del calor.

Caso clínico

Torsión testicular

Alejandro, de 17 años, estaba jugando squash cuando su oponente lo golpeó con la raqueta

en la entrepierna con alguna fuerza. Esto dejó sin aliento y cayó al suelo, pero se recuperó para seguir jugando. Cuando el juego terminó, Alejandro fue a bañarse, y entonces el dolor en la región escrotal se hizo insufrible. Notó que el testículo izquierdo estaba edematizado y muy sensible al tacto; vomitó y sintió que la parte inferior del abdomen “estaba a punto de reventar”. Fue llevado al departamento de urgencias, donde lo examinó una enfermera practicante. Ella intentó la rotación manual de lo que pensó era una torsión del testículo izquierdo. Sin embargo, el dolor era tan intenso que se realizó una ecografía Doppler a color. Se administró a Alejandro analgésico intramuscular y un antiemético. Los resultados confirmaron el diagnóstico de la enfermera de torsión testicular izquierda. Alex fue sometido a destorsión y orquidopexia.

Es importante que una vez que se confirma el diagnóstico se realice la cirugía en cuanto sea posible para evitar la isquemia y preservar el funcionamiento y la fecundidad. Entre las complicaciones de una torsión con tratamiento nulo o tardío están el infarto del testículo con atrofia subsecuente, infección y deformidad. Hay ciertas evidencias de que la retención de un testículo así afectado puede causar patología en el testículo contralateral, anomalías del semen y disminución de la fecundidad (Blaivas and Brannam, 2004).

Reflejo cremastérico

El reflejo cremastérico es un fenómeno que ocurre cuando el cuerpo necesita cambiar la posición de los testículos hacia arriba o abajo. El músculo cremáster es parte del cordón espermático; cuando este músculo se contrae, el cordón espermático se acorta y los testículos suben hacia el cuerpo. El resultado es que reciben un poco más de calor, para asegurar una temperatura testicular más favorable. Cuando se requiere enfriamiento, el músculo cremáster se torna laxo y en consecuencia los testículos descienden y se alejan del calor del cuerpo, con lo que se enfrían. Es la contracción del músculo dartos (situado en la capa subcutánea del escroto) lo que hace que el escroto luzca arrugado cuando se tensa.

Pene

El pene es el órgano copulatorio masculino. Rodea la uretra y está muy vascularizado. Es el conducto para la excreción de orina y para la eyaculación de semen. El pene tiene un cuerpo y una punta, llamada glande (que en el varón no circuncidado está cubierto por el prepucio).

El pene tiene forma cilíndrica y está formado por tres masas cilíndricas de tejido. Las tres columnas de tejido eréctil del pene son el tallo o cuerpo, los cuerpos cavernosos y el cuerpo esponjoso (figura 12-7). La parte en que el pene se une al cuerpo es la raíz, y la parte más móvil es el tallo o cuerpo.

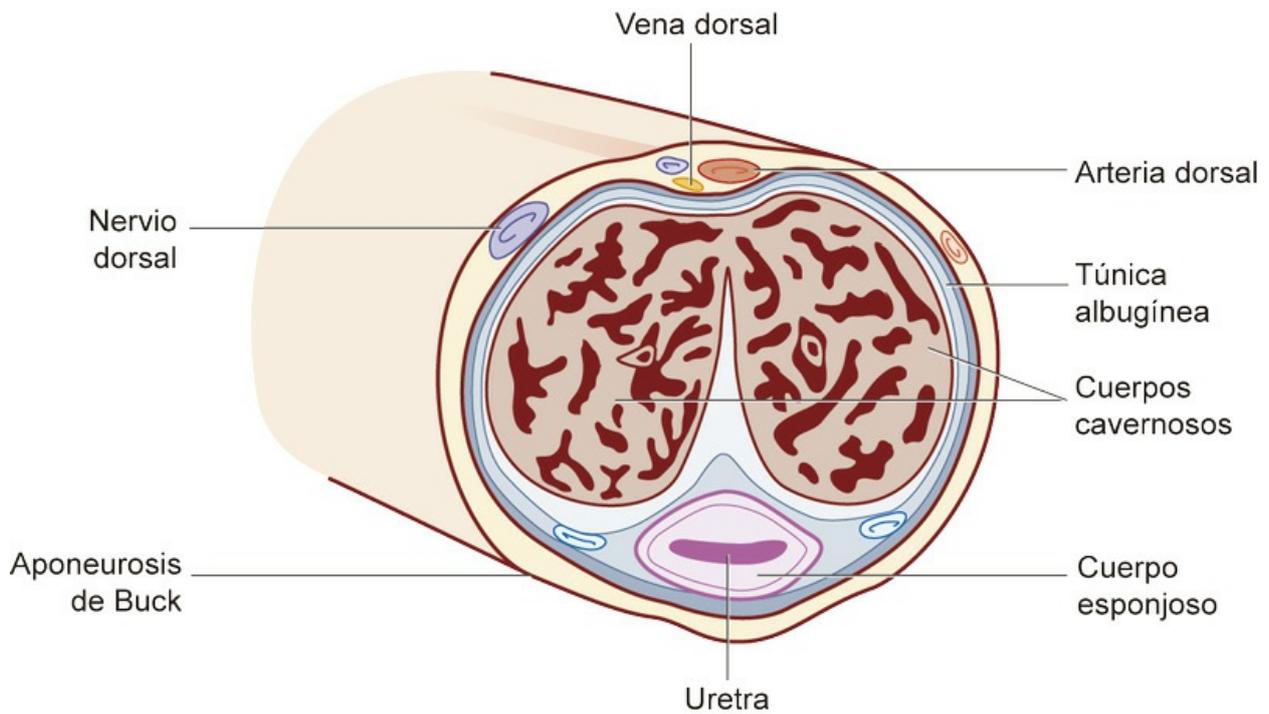


Figura 12-7. Anatomía del pene. *Fuente:* Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El pene suele estar flácido y pender laxamente, pero durante la excitación sexual se torna erecto (presenta una erección), edematizado, lleno de sangre, más firme y recto. Estos cambios ocurren porque el tejido eréctil se llena de sangre, lo cual hace posible que el pene penetre en la vagina y deposite espermatozoides (en la eyaculación) tan cerca del sitio de fecundación como sea posible.

Por lo común, cuando los compartimientos peneanos se llenan de sangre en respuesta a una reacción o un impulso que estimulen la vasodilatación arteriolar por el sistema nervioso parasimpático, ocurre la erección. El reflejo de la erección puede ser inducido a través de la vista, tacto, presión, sonidos, olores o pensamientos de un encuentro sexual. Cuando la eyaculación ha ocurrido las arteriolas se constriñen y el pene se torna flácido de nuevo.

Manejo de medicamentos

Disfunción eréctil

La disfunción eréctil ocurre cuando un varón no logra o mantiene una erección suficiente. Existen varios tratamientos para este problema. Uno de estos actúa impidiendo la acción de una sustancia endógena llamada fosfodiesterasa tipo 5. El sildenafil es un ejemplo; mejora el flujo sanguíneo hacia el pene después de la estimulación sexual. Sin embargo, antes de prescribir sildenafil el médico debe saber si el paciente tiene:

- Cualquier enfermedad, lesión o deformidad del pene.
- Cualquier enfermedad del corazón o vasos sanguíneos.
- Algún trastorno gástrico que cause sangrado.
- Algún problema ocular que cause pérdida de la visión.
- Hipotensión o angina.

- Problemas de hígado o riñones.
- Antecedentes de accidente cerebrovascular o ataque cardíaco.
- Drepanocitemia.
- Antecedentes de reacción alérgica al sildenafil o cualquier otro fármaco.

El sildenafil debe usarse del modo prescrito:

Una tableta 1 h antes del momento planeado de la relación sexual. Puede tomarse antes o después de alimentos. El sildenafil no debe tomarse más de una vez al día.

Véase *British Society for Sexual Medicine* (2013).

Epidídimo

El epidídimo es un conducto en forma de coma de unos 4 cm de longitud. Se encuentra en el aspecto lateral posterior de los testículos. Consiste en un conducto muy enrollado que desemboca en un tubo más grande y muscular llamado conducto deferente; el conducto deferente entra en la cavidad pélvica.

Dentro del epidídimo los espermatozoides terminan de madurar, y son preparados para hacerse más móviles a fin de que sean capaces de fecundar al óvulo. Para que esto ocurra se requieren unos 14 días de maduración (Jenkins y Tortora, 2012). Los espermatozoides se almacenan en el epidídimo y son expulsados por una actividad peristáltica cuando el músculo liso se contrae durante la excitación sexual, lo que desplaza los espermatozoides a lo largo del epidídimo hacia el conducto deferente. Los espermatozoides almacenados en el epidídimo pueden permanecer ahí por varios meses; los que no se eyaculan con el tiempo son reabsorbidos.

Conducto deferente, conducto eyaculador y cordón espermático

Al entrar en la cavidad pélvica, el conducto deferente es menos contorneado que el epidídimo; su diámetro también es mayor, y su longitud es de unos 45 cm (Tortora y Derrickson, 2012). Este tubo contiene epitelio ciliado con una gruesa capa muscular. El conducto deferente va del aspecto anterior del saco escrotal a la cavidad pélvica como un par de tubos dentro del conducto inguinal. Entre el saco escrotal y el conducto inguinal hay un tubo por el que discurre el conducto deferente; este tubo contiene los vasos sanguíneos y nervios y recibe el nombre de cordón espermático (Colbert *et al.*, 2012).

El conducto deferente se une entonces a la vesícula seminal para convertirse en el conducto eyaculador. Este conducto pasa después a la próstata, y descarga su líquido en la uretra.

Próstata

La función de la glándula prostática no se comprende del todo (Laws, 2006). La próstata es una glándula única en forma de dona, aproximadamente del tamaño

de una nuez, de unos 4 cm. Rodea la uretra bajo la vejiga urinaria y está formada por 20 a 30 glándulas cubiertas por músculo liso (Marieb, 2012).

La próstata consiste en tres zonas bien delimitadas:

- Zona central.
- Zona periférica.
- Zona de transición.

Las secreciones de la próstata representan alrededor de un tercio del volumen del semen; el líquido ayuda a la motilidad de los espermatozoides y a mantenerlos viables. El líquido prostático es ligeramente ácido (pH 6.5). Las secreciones prostáticas entran en la uretra por varios conductos durante la eyaculación.

Aparato reproductor femenino

Genitales primarios

Como en el caso de los órganos reproductores masculinos, los órganos reproductores femeninos, junto con el sistema neuroendocrino, producen hormonas esenciales para el desarrollo biológico y las actividades sexuales. Los genitales primarios de la mujer son los ovarios, y los secundarios son las trompas de Falopio, útero y vagina; la vulva representa a los genitales externos. Hay aspectos de los órganos reproductores femeninos que se integran al funcionamiento del aparato urinario.

LeMone y Burke (2011) señalan que el aparato reproductor femenino consiste en los genitales externos:

- Monte del pubis (o monte de Venus).
- Labios.
- Clítoris.
- Aberturas vaginal y uretral.
- Glándulas.

Los órganos internos son:

- Vagina.
- Cuello uterino.
- Útero.
- Trompas de Falopio.
- Ovarios.

Las mamas son también órganos reproductores femeninos. A diferencia de lo que ocurre en el varón, la uretra y el meato urinario no son parte del aparato reproductor de la mujer; sin embargo, están en estrecha proximidad y, debido a ello, los problemas de salud que afectan a unos a menudo afectan a los otros. En la figura 12-8 se presentan la localización y funciones de los órganos reproductores femeninos.

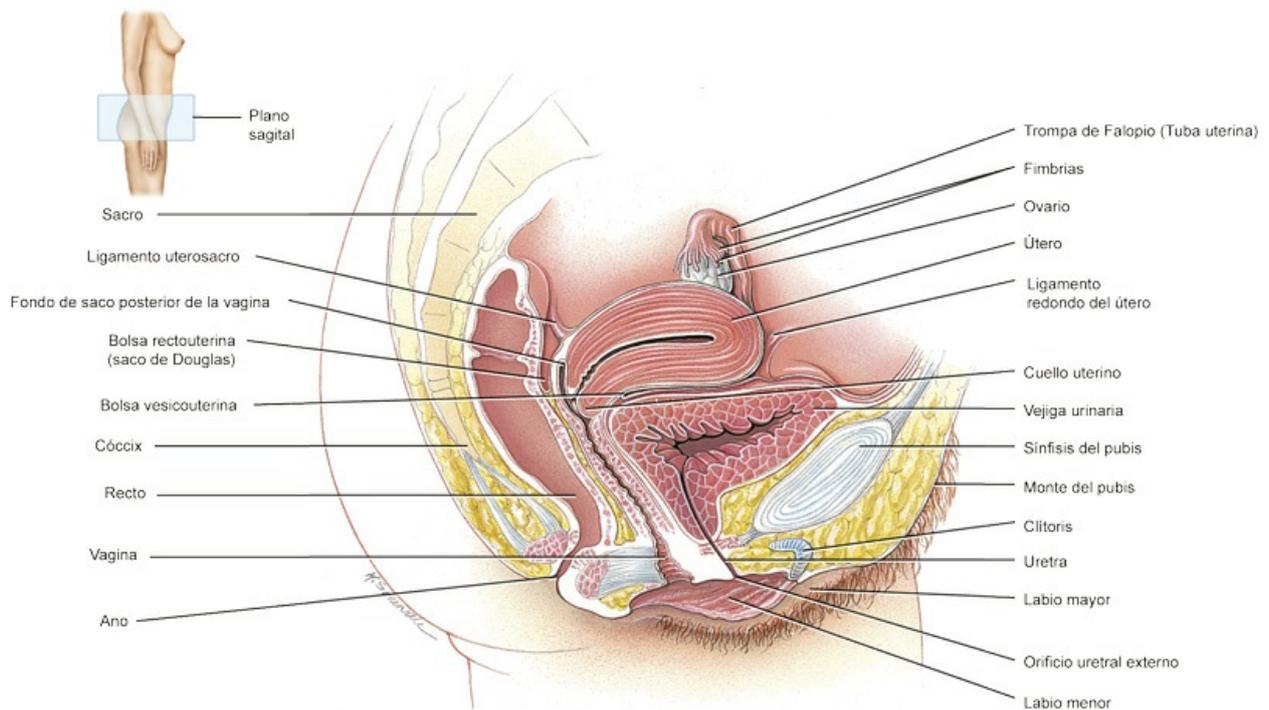


Figura 12-8. Aparato reproductor femenino. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El aparato reproductor femenino está diseñado para producir óvulos, recibir el pene durante el coito y los espermatozoides eyaculados, contener y nutrir al feto, y alimentar al neonato después del nacimiento con leche materna. Por lo común, cada mes el cuerpo de la mujer (desde la pubertad hasta la menopausia) se prepara para el embarazo. Si no ocurre la concepción entonces se realiza la menstruación y el ciclo vuelve a comenzar.

Manejo de medicamentos

Anticoncepción

La píldora anticonceptiva oral combinada contiene dos hormonas: un estrógeno y un progestágeno. Si se usa en forma correcta, representa un medio muy eficaz de anticoncepción.

Este fármaco modifica el equilibrio hormonal del organismo de modo que los ovarios no ovulen. Hace que el moco producido por el cuello uterino se engrose y forme un tapón mucoso. Esto dificulta la entrada de espermatozoides al útero para fecundar un óvulo. También adelgaza el recubrimiento del útero, lo cual hace menos probable que un óvulo fecundado se implante en el útero.

Ovarios

Los ovarios son glándulas pares; en la mujer adulta son estructuras aplanadas en forma de almendra situadas una a cada lado del útero abajo de los extremos de las trompas de Falopio. Son análogas a los testículos en el varón; los ovarios son

órganos internos. Un conjunto de ligamentos, los mantienen en posición, conectando los ovarios con el útero. También están unidos al ligamento ancho, y este ligamento los fija a la pared pélvica. Los ovarios constituyen un espacio de almacenamiento para las células germinales femeninas; también producen las hormonas femeninas estrógeno y progesterona. El número total de óvulos de una mujer ya está presente al nacer; cuando una niña llega a la pubertad suele ovular cada mes.

El ovario contiene varias estructuras pequeñas llamadas folículos ováricos. Cada folículo contiene un óvulo inmaduro, denominado ovocito. Cada mes, los folículos son estimulados por dos hormonas, la folículo-estimulante (FSH) y la LH, que estimulan la maduración de los folículos. Los folículos en desarrollo están rodeados por capas de células foliculares; los folículos maduros reciben el nombre de folículos de de Graaf.

Corteza ovárica

Esta región está situada de manera profunda y cerca de la túnica albugínea. La corteza contiene los folículos ováricos rodeados por tejido conjuntivo irregular denso. Estos folículos contienen ovocitos en diversas etapas de desarrollo, así como varias células que nutren al ovocito en desarrollo; cuando el folículo se hace más grande secreta estrógeno.

Folículos de Graaf

Los folículos de Graaf producen estrógeno; esto estimula el crecimiento del endometrio. Cada mes en la mujer que menstrua, uno o dos folículos maduros (los folículos de Graaf) liberan un ovocito; esto se denomina ovulación. Los remanentes de un folículo grande roto se convierten en una nueva estructura llamada cuerpo amarillo.

Cuerpo amarillo

El cuerpo amarillo produce dos hormonas, estrógeno y progesterona, con el fin de apoyar el endometrio hasta que ocurra la concepción o el ciclo vuelva a comenzar. El cuerpo amarillo se desintegra gradualmente y deja una cicatriz en el exterior del ovario llamada cuerpo blanco.

El aspecto externo del ovario está envuelto en una cápsula fibrosa llamada túnica albugínea, compuesta por epitelio de células cúbicas. El aspecto interno del ovario se divide en varias partes.

Médula ovárica

La médula ovárica contiene vasos sanguíneos, nervios y tejidos linfáticos

rodeados por tejido conjuntivo laxo. Hay un borde mal definido entre la corteza ovárica y la médula. En la figura 12-9 se muestra el ovario durante el desarrollo del ovocito.

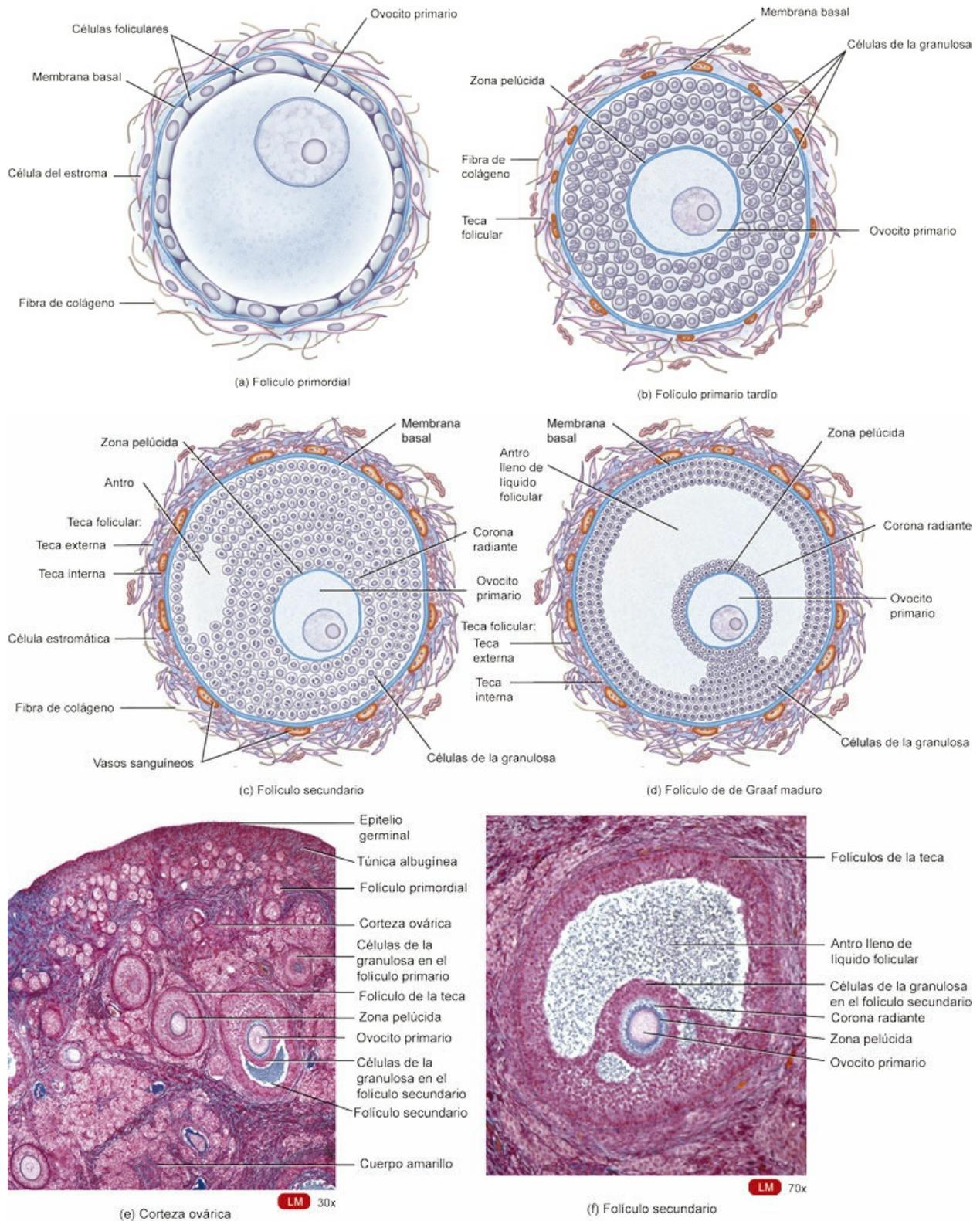


Figura 12-9. (a–f) Secuencias del desarrollo para la maduración del óvulo.
Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Ovogénesis

El término ovogénesis se refiere al desarrollo de células germinales relativamente indiferenciadas denominadas ovogonios. Los ovogonios son una cantidad fija (entre 2 y 4 millones) de células madre diploides ($2n$) (Stanfield, 2011) antes del nacimiento, durante el desarrollo fetal; mientras que los espermatogonios se regeneran en forma continua en la pubertad, ello no ocurre con los ovogonios. A fin de cuentas todos los óvulos derivan de estas clonas. Estos ovogonios se convierten en ovocitos primarios, más grandes; la fase meiótica no se completa sino hasta que la niña alcanza la pubertad (figura 12-10).

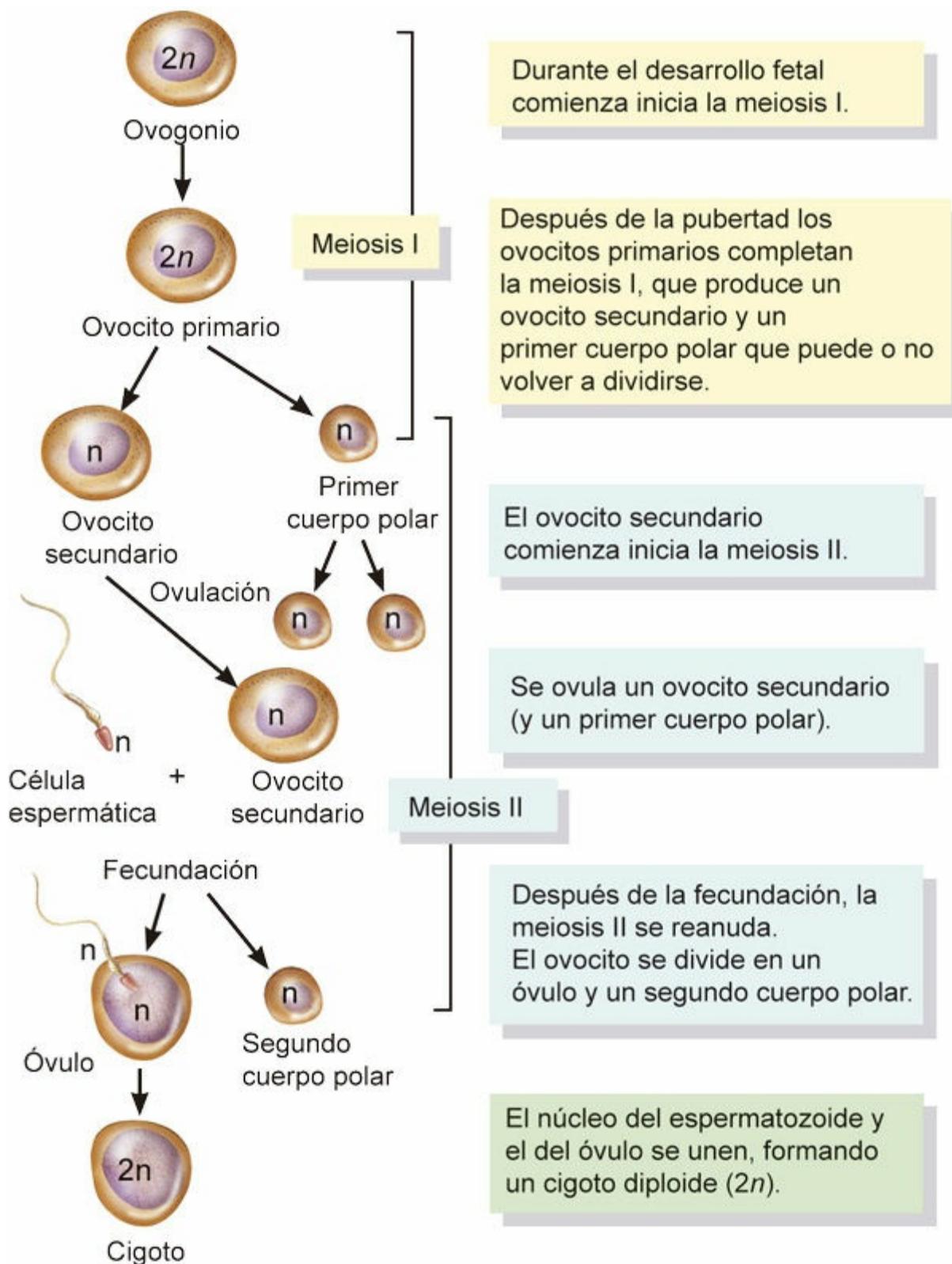


Figura 12-10. Ovogénesis. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cada mes después de la pubertad y hasta la menopausia, las dos hormonas FSH y LH son liberadas por la adenohipófisis y estimulan los folículos primordiales. Por lo común sólo uno alcanza la madurez necesaria para la ovulación.

Función de las hormonas sexuales femeninas

Estrógenos, progesterona y andrógenos son producidos por los ovarios en un patrón repetitivo. Aunque los estrógenos se secretan durante todo el ciclo menstrual, alcanzan su concentración máxima durante esta fase específica de ovulación.

Los estrógenos son esenciales para el desarrollo y mantenimiento de los caracteres sexuales secundarios; y, al trabajar en coordinación con varias otras hormonas, estimulan los órganos reproductores femeninos para prepararse para el crecimiento del feto (LeMone y Burke, 2011). Los estrógenos tienen una función clave en la estructura habitual de la piel y los vasos sanguíneos. También ayudan a reducir la rapidez de resorción ósea (degradación del hueso), favorecen el aumento de las lipoproteínas de alta densidad, reducen las concentraciones de colesterol e incrementan la coagulación sanguínea.

Ciclo menstrual

El endometrio del útero reacciona a cambios en el estrógeno y progesterona durante el ciclo ovárico, cuando se prepara para la implantación del óvulo fecundado (cigoto). El endometrio es receptivo para la implantación del cigoto sólo un breve periodo cada mes, que coincide con el momento en que el cigoto llegaría al útero desde la trompa de Falopio (por lo común siete días).

Manejo de medicamentos

Vaginitis atrófica

Muchas mujeres notan cambios en su vagina y zona genital después de la menopausia. Entre esos cambios puede incluirse resequedad vaginal (vaginitis atrófica) y molestias durante el coito. A menudo esto puede corregirse con tratamiento. Son opciones de manejo la terapia de restitución hormonal (TRH), cremas o pesarios con estrógeno y geles lubricantes.

La TRH implica la administración de estrógeno en tabletas, gel o parches. A menudo este es el mejor tratamiento para aliviar los síntomas. Como en el caso de todos los medicamentos, hay ventajas y desventajas con el uso de la TRH.

A veces se prescribe una crema, un pesario o una tableta o anillo vaginales que contienen estrógeno. Un pesario se inserta en la vagina usando un pequeño aplicador. El anillo es blando y flexible y contiene estrógeno en el centro, el cual se libera a dosis bajas continuas; dura tres meses. Las cremas de estrógeno y los pesarios pueden dañar los preservativos y diafragmas de látex.

Si el único problema es la sequedad vaginal, o si no se recomiendan las cremas con hormona, los geles lubricantes pueden ser de utilidad. Existen en el mercado varios que reponen la humedad.

El ciclo menstrual inicia con la fase menstrual y dura del día 1 al 5. La capa

endometrial interna (también llamada capa funcional) se separa, y luego se expulsa como líquido menstrual durante 3 a 5 días. Cuando el folículo en crecimiento comienza a producir estrógeno (días 6 a 14), empieza la siguiente etapa, la fase proliferativa. Como resultado, la capa funcional se repara y engruesa al mismo tiempo que las arterias espirales se multiplican y se forman glándulas tubulares (LeMone y Burke, 2011). El moco cervical se modifica, convirtiéndose en una sustancia cristalina delgada que forma conductos, los cuales permiten a los espermatozoides viajar en ascenso hacia el útero.

La fase final, que dura de los días 14 a 28, es la fase secretoria. A medida que el cuerpo amarillo produce progesterona, las concentraciones crecientes actúan en el endometrio, con el resultado de un aumento de la vascularidad, que cambia la capa interna en una mucosa secretora, lo cual estimula la secreción de glucógeno en la cavidad uterina. Esto hace que el moco cervical vuelva a engrosarse, bloqueando el orificio interno. Si no ocurre la fecundación, las concentraciones de hormona descienden. Los espasmos de las arterias espirales causan hipoxia (falta de oxígeno) de las células endometriales, que comienzan a degenerar y luego se desprenden. Como en el ciclo ovárico, el proceso vuelve a comenzar con el desprendimiento de la capa funcional. En la figura 12-11 se presentan los ciclos ovárico y uterino.

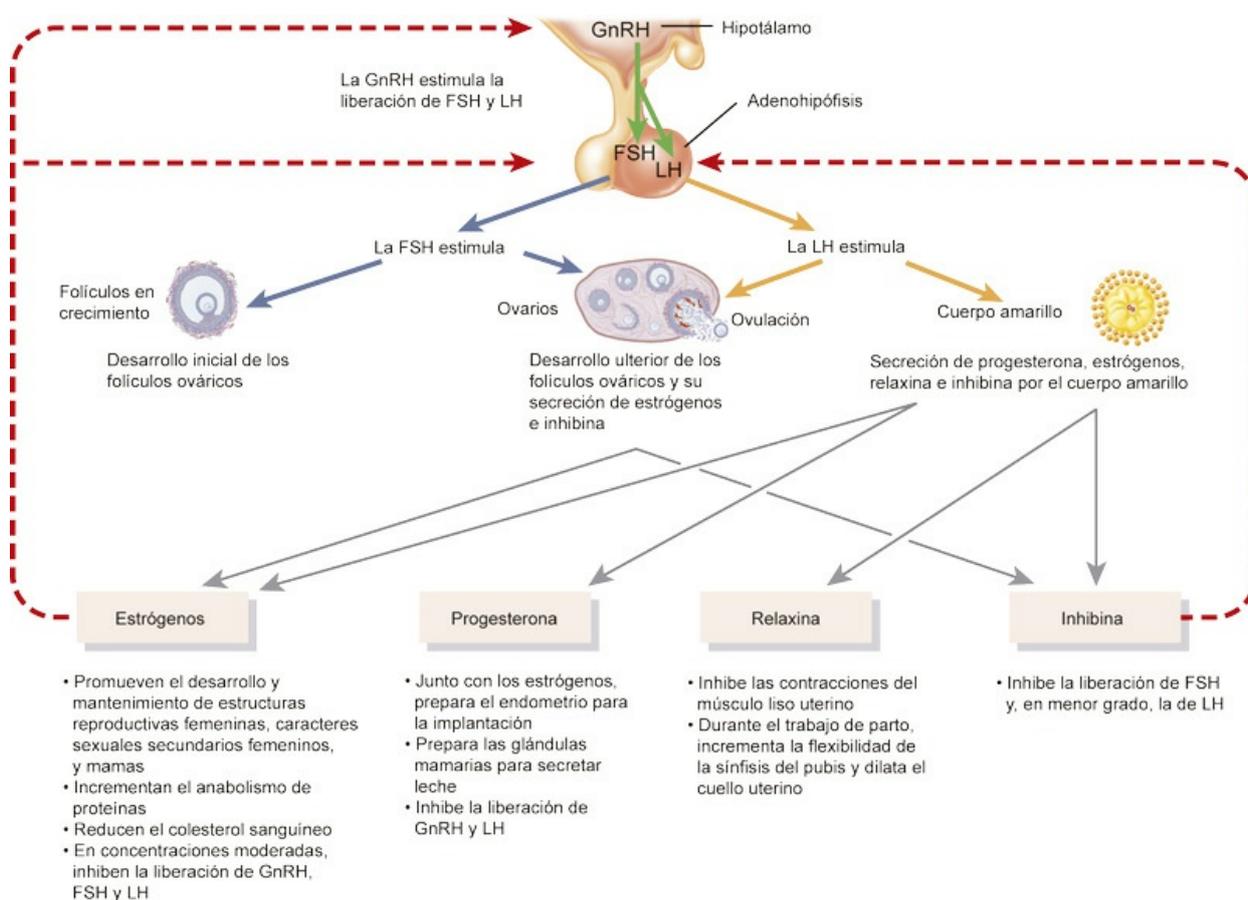


Figura 12-11. Ciclos ovárico y uterino. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Consideraciones clínicas

Inserción del dispositivo intrauterino

Un dispositivo intrauterino (DIU) es un pequeño artefacto de plástico y cobre con forma de T que una enfermera o un médico con capacitación especial insertan en el útero. El DIU impide que los espermatozoides y el óvulo sobrevivan en el útero o las trompas de Falopio; también puede impedir que un óvulo fecundado se implante en el útero.

Existen diferentes tipos de DIU; algunos tienen más cobre que otros. Los DIU con más cobre tienen eficacia mayor del 99%. El cobre cambia la composición de los líquidos en el útero y las trompas de Falopio. Los DIU con menos cobre son menos eficaces. Hay tipos y tamaños de DIU para diferentes mujeres; pueden insertarse en el consultorio del médico, la clínica de planificación familiar local o la clínica de salud sexual. Un DIU puede insertarse en cualquier momento, aunque suele ser más fácil cuando la mujer está menstruando, ya que en ese momento el cuello uterino está ligeramente abierto.

Se inserta con suavidad en la vagina un espéculo de metal o plástico para observar el cuello uterino. Éste se asea con un limpiador especial. A continuación se inserta una pequeña “sonda” para medir la longitud del útero. Entonces se introduce el DIU con una pajilla muy pequeña. El DIU tiene un hilo en un extremo. La enfermera o el médico recortan la parte que sale por el cuello uterino a la vagina. El hilo permite a la mujer verificar que el DIU está en su posición (figura 12-12).

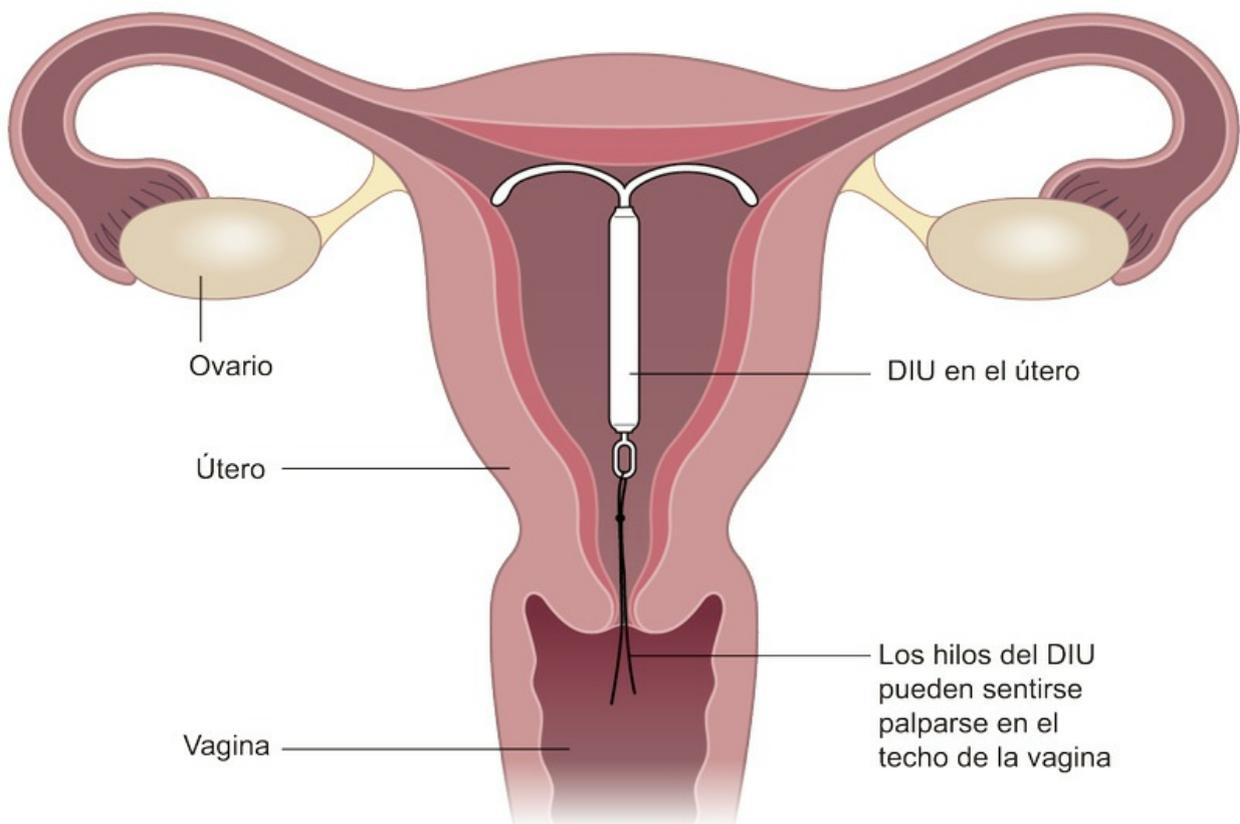


Figura 12-12. Un DIU *in situ*.

Órganos internos

Los órganos internos del aparato reproductor femenino son la vagina, cuello uterino, útero, trompas de Falopio y ovarios. Los ovarios (antes comentados) son

los órganos reproductivos primarios de la mujer, además de que producen hormonas sexuales femeninas. La vagina, útero y trompas de Falopio actúan como un conducto accesorio para los ovarios y el feto en desarrollo.

Útero

Este órgano hueco se denomina coloquialmente matriz. Es muy muscular, y se encuentra en la cavidad pélvica posterior y superior a la vejiga urinaria; se sitúa anterior al recto (en la figura 12-13 se muestran el útero y las estructuras relacionadas).

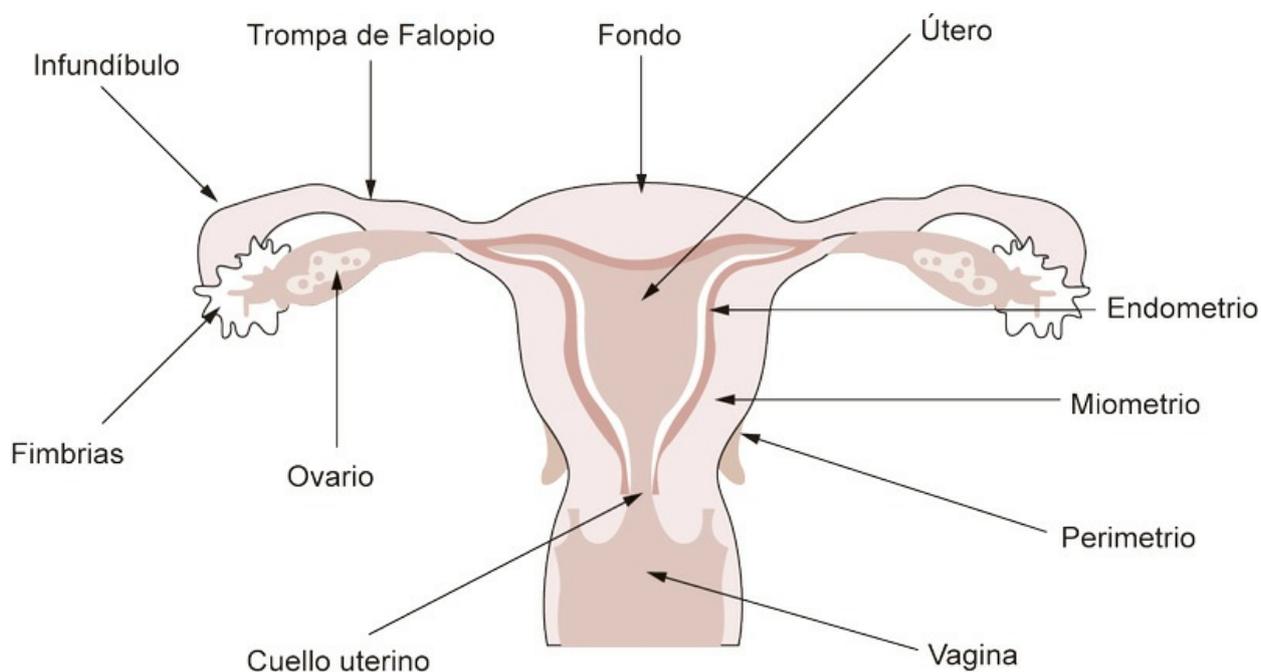


Figura 12-13. Útero y estructuras relacionadas. *Fuente:* Nair and Peate (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El útero mide unos 7.5 cm de largo y tiene tres partes principales:

- **Fondo**, una región muscular gruesa situada arriba de las trompas de Falopio.
- **Cuerpo**, la porción principal del útero, unida al cuello uterino por un istmo.
- **Cuello**, la parte más estrecha del útero que se abre hacia la vagina.

Además de tener tres aspectos o partes, el útero tiene tres capas. El perimetrio es una capa serosa, la más externa, que se fusiona con el peritoneo. La capa media es el miometrio, y comprende la mayor parte de la pared uterina. Hay varias fibras musculares en esta capa, que corren en varias direcciones; esta disposición permite las contracciones que ocurren durante la menstruación y el parto y el aumento de tamaño del feto. El endometrio, la capa más interna, reviste el útero, y se desprende durante la menstruación. Las tres capas se resumen en el cuadro 12-1.

Cuadro 12-1. Capas del útero

| Capas | Comentarios |
|------------|--|
| Perimetrio | Membrana serosa que envuelve el útero; es la capa externa. Sostiene al útero, situado dentro de la pelvis. También se le llama peritoneo parietal |
| Miometrio | Es la capa media y consiste de músculo liso. Durante el embarazo y el parto se requiere que el útero se estire; esta capa lo hace posible. El músculo se contrae durante el trabajo de parto, y después del nacimiento esta capa muscular se contrae con fuerza para expulsar la placenta. Las contracciones también ayudan a controlar una posible hemorragia después del parto |
| Endometrio | El endometrio es la membrana mucosa que reviste el interior del útero. Cambia durante el ciclo menstrual. Se engrosa y vasculariza de manera abundante en preparación para el embarazo. Si éste no ocurre, parte del endometrio se desprende, con el resultado de sangrado menstrual. |

Fuente: Adaptado de McGuinness (2013) y Waugh y Grant (2014).

Trompas de Falopio

Las trompas de Falopio (también llamadas tubas uterinas o salpinges), pares, son delicadas estructuras cilíndricas delgadas de unos 8 a 14 cm de largo (Marieb, 2012). Están unidas al útero por un extremo y son sostenidas por los ligamentos anchos. Los extremos laterales de las trompas de Falopio están abiertos y consisten en proyecciones llamadas fimbrias, que cubren el ovario. Las fimbrias captan al óvulo después de que se libera del ovario.

Las trompas de Falopio están formadas por músculo liso y revestidas con células epiteliales ciliadas productoras de moco. Las acciones de los cilios y las contracciones del músculo liso transportan el óvulo a lo largo de los tubos en ascenso hacia el útero. Es en la porción externa de la trompa de Falopio donde suele ocurrir la fecundación del óvulo por los espermatozoides.

El término anexos se aplica de manera colectiva cuando se habla de trompas de Falopio, ovarios y tejidos de sostén.

Caso clínico

Embarazo ectópico

Alicia se sometió a cirugía laparoscópica (salpingectomía derecha) por embarazo ectópico. Está en casa dos días después de la intervención y tiene malestar abdominal; también se queja de dolor en el cuello y hombro. Hace una cita para ver a la enfermera.

La enfermera le explica a Alicia que el gas (dióxido de carbono) que se insufló en su cavidad abdominal para que el cirujano identificara las trompas de Falopio es la causa de su molestia abdominal. El dolor del cuello y hombro que algunas personas experimentan

en estos casos también se relaciona con la laparoscopia y el dióxido de carbono. Este gas irrita el diafragma y el nervio frénico. Le explica a Alicia que el dolor desaparecerá cuando el gas se absorba. Asimismo le indica que permanecer acostada también ayudará a reducir el dolor.

Véase *National Institute of Health and Care Excellence* (2012).

Vagina

La vagina es una estructura fibromuscular tubular de unos 8 a 10 cm de largo (Jenkins y Tortora, 2012). Es el receptáculo para el pene durante el coito, un órgano de la reproducción sexual y el conducto que permite que el flujo menstrual salga del cuerpo y el paso del neonato al nacer. La vagina se sitúa posterior a la vejiga urinaria y la uretra; es anterior al recto. El elemento superior contiene el cuello uterino en una zona que se conoce como fondo de saco. Las paredes vaginales tienen pliegues de tejido membranoso. Estas membranas están formadas por células epiteliales pavimentosas estratificadas secretoras de moco.

Por lo común, las paredes de la vagina son húmedas y tienen un pH que va de 3.8 a 4.2. Este pH inhibe la proliferación de bacterias (es bacteriostático) y se mantiene por la acción del estrógeno y microorganismos propios de la vagina saludable (la flora vaginal normal). El estrógeno induce el crecimiento de las células de la mucosa vaginal, que se engruesan y aumentan su contenido de glucógeno. El glucógeno es fermentado a ácido láctico por lactobacilos (microorganismos que producen ácido láctico) que en forma habitual viven en la vagina, con el resultado de una ligera acidificación del líquido vaginal (LeMone y Burke, 2011).

Cuello uterino

Dentro de la vagina se proyecta el cuello uterino, y esto forma una comunicación entre el útero y la vagina. La abertura del cuello uterino se conoce como orificio cervical interno, y la abertura vaginal se denomina orificio uterino externo. El espacio entre estos orificios, el conducto endocervical, actúa como un conducto para la salida del líquido menstrual, la entrada de los espermatozoides y el nacimiento del bebé durante el parto. El cuello uterino es una estructura rígida, protegida por moco que cambia en consistencia y cantidad durante el ciclo menstrual y el embarazo.

Genitales externos

De manera colectiva, los genitales externos constituyen la vulva. Son el monte del pubis, labios, clítoris, aberturas vaginal y uretral, y glándulas (LeMone y Burke, 2011).

El monte del pubis (o monte de Venus) es un cúmulo de tejido adiposo elevado

cubierto de piel. Se encuentra anterior a la sínfisis del pubis, a la que acolcha. Después de la pubertad, el monte se cubre de vello púbico grueso.

Los labios consisten en dos pares de estructuras. Los labios mayores son pliegues de piel y abundante tejido adiposo cubierto de vello púbico; son los más externos. Comienzan en la base del monte del pubis y terminan en el ano. Los labios menores, situados entre el clítoris y la base de la vagina, están cubiertos por los labios mayores. Consisten de piel, tejido adiposo y algunos tejidos eréctiles con varias glándulas sebáceas. Suelen ser de color rosa claro y están desprovistos de vello púbico.

El clítoris está formado por dos pequeños cuerpos eréctiles, los cuerpos cavernosos, y varios nervios y vasos sanguíneos. El glande del clítoris es la porción expuesta del clítoris y se compara con el glande del pene en el varón. Esta parte de los genitales externos puede expandirse; participa en la excitación sexual de la mujer.

Caso clínico

Perforación de genitales

Graciela acude a la clínica de salud sexual e informa que tiene secreción “allá abajo”. La enfermera recaba la anamnesis y anota que desde hace cinco días la mujer se sometió a una perforación (“*piercing*”) de la capucha clitorídea y el día anterior se sentía muy caliente, con malestar general, náusea y una secreción en la zona vulvar que manchó la ropa interior. La enfermera examina Graciela y observa una secreción amarilla, así como enrojecimiento y tumefacción en la zona vulvar.

Es probable que Graciela tenga una infección bacteriana como resultado de la perforación; también puede estar sufriendo una reacción alérgica al metal que se le insertó.

Otras posibles complicaciones de la perforación genital son la hemorragia, lesión de nervios y formación de una cicatriz gruesa en el sitio perforado. Existe además el riesgo de contraer VIH, hepatitis B y C, infecciones de transmisión sexual y otras infecciones. Estos riesgos pueden minimizarse con el uso de una aguja estéril nueva y acudiendo a una persona certificada en el medio. Asimismo, el uso de joyería apropiada hecha con metales como el acero inoxidable quirúrgico o titanio reduce el riesgo de infección y reacción alérgica.

Las personas con perforaciones deben tener cuidado al usar preservativos: no abrir los paquetes con los dientes, y evitar dañar el preservativo con uñas, joyería o los implantes metálicos colocados en la perforación.

Véase *British Association for Sexual Health and HIV* (2012).

Mamas

Las mamas son proyecciones en forma de domo que difieren en tamaño de una mujer a otra; en ocasiones se les llama glándulas mamarias. Son órganos sexuales accesorios externos de la mujer. Dentro de la mama hay varias glándulas productoras de leche. La hormona llamada prolactina controla la producción de leche.

Las mamas se localizan entre la tercera y séptima costillas en el aspecto anterior de la pared abdominal. Son sostenidas por los músculos pectorales y tienen un abundante suministro de nervios y vasos sanguíneos y linfáticos (figura 12-14). Una zona pigmentada llamada aréola está situada un poco abajo del centro de cada mama y contiene glándulas que secretan sebo –una sustancia espesa constituida por grasa y desechos celulares (glándulas sebáceas)– y un pezón. El pezón suele sobresalir, y presentar erección en respuesta a frío y estimulación.

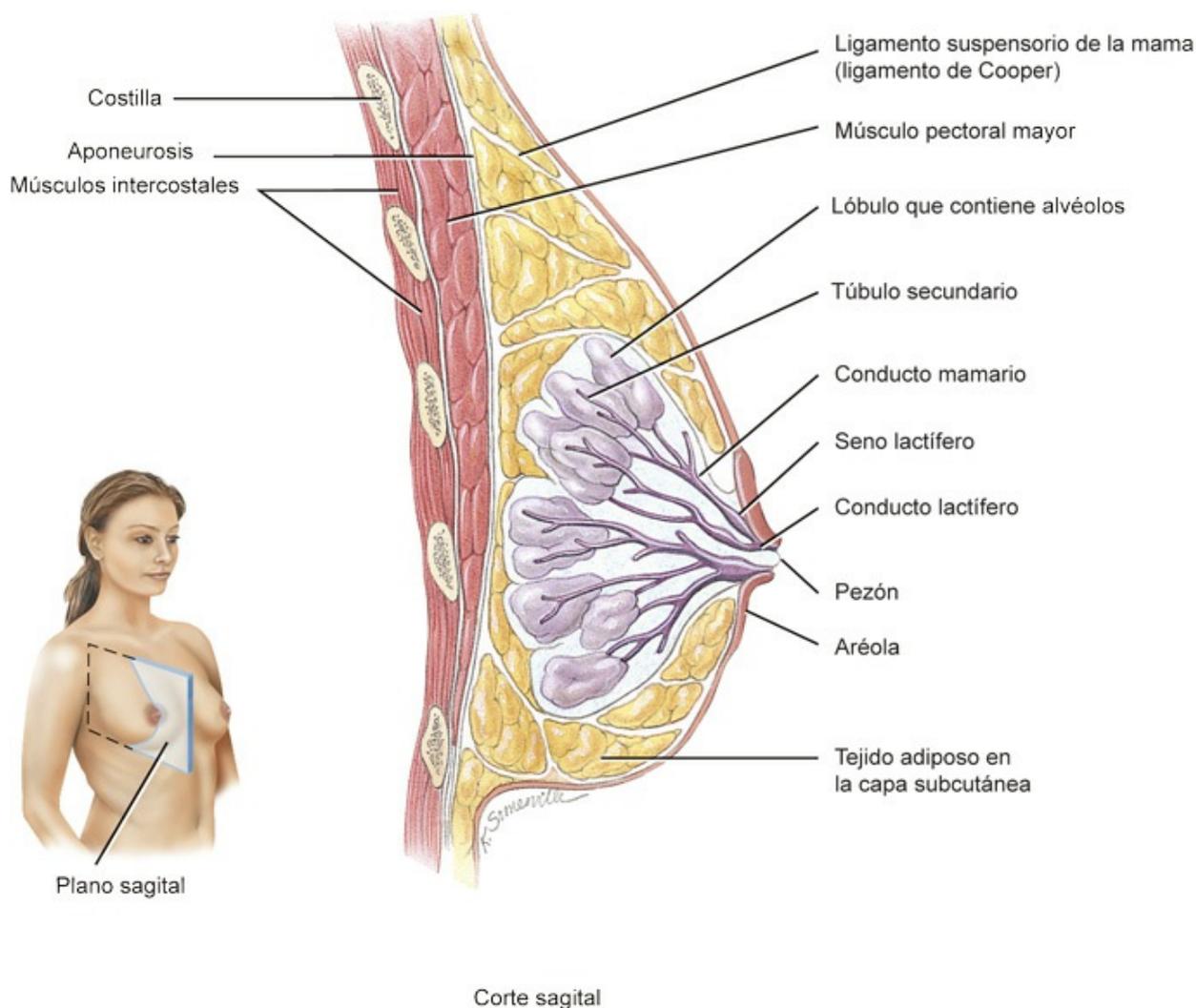


Figura 12-14. Mama. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Las mamas consisten de tejido adiposo (grasa), tejido conjuntivo fibroso y tejido glandular. Hay bandas de tejido fibroso que soportan la mama y se extienden desde el tejido mamario externo hasta el pezón, de modo que dividen la mama en 15 a 25 lóbulos. Los lóbulos están comprendidos por glándulas alveolares unidas por conductos que se abren en el pezón.

Conclusión

Los aparatos reproductores masculino y femenino son complejos. Todos los seres vivos se reproducen; en esencia, los organismos forman más organismos similares a ellos. Sin esos aparatos reproductores la vida humana cesaría; estos aparatos son esenciales para la vida. Tienen varias funciones aparte de la reproducción, la producción y el transporte de células sexuales. En el proceso reproductivo humano se requieren dos tipos de células sexuales o gametos. El gameto masculino, el espermatozoide, y el gameto femenino, el óvulo, se unen en el aparato reproductor femenino para iniciar la creación de un nuevo individuo. Se requieren características anatómicas y procesos fisiológicos para asegurar que esta maravilla ocurra de manera eficaz.

La reproducción sexual, el proceso de producir descendencia para la supervivencia de la especie y la transmisión de rasgos hereditarios de una generación a la siguiente, es la función clave de los aparatos reproductores masculino y femenino. Éstos contribuyen a los sucesos que desembocan en la fecundación. Los órganos femeninos se encargan del desarrollo, nacimiento y nutrición del nuevo ser humano. Esos aparatos también proporcionan disfrute, placer sexual y excitación sexual; para muchas personas éste es un aspecto importante de la vida.

Glosario

Andrógenos. Hormonas sexuales masculinas virilizantes producidas por los testículos en el varón y la corteza suprarrenal en ambos géneros.

Anterior. Hacia el frente.

Antiemético Antinauseoso.

Célula de Leydig. Tipo de célula que secreta testosterona.

Ciclo ovárico. Serie de sucesos que ocurren en los ovarios durante y después de la maduración del ovocito.

Conducto deferente. Principal conducto secretor del testículo, a través del cual el semen es llevado del epidídimo a la uretra prostática, donde termina como conducto eyaculador.

Conducto inguinal. Conducto en la pared abdominal inferior del varón.

Conducto. Paso, acceso, tubo estrecho.

Corteza suprarrenal. Porción externa de una glándula suprarrenal.

Cuerpo amarillo. Estructura amarillenta localizada en el ovario cuando un folículo ha expulsado su ovocito secundario.

Cuerpo blanco. Parche fibroso blancuzco en el ovario, que se forma después de que el cuerpo amarillo sufre regresión.

Endometrio. Membrana mucosa que reviste al útero.

Escroto. Saco cubierto de piel que contiene los testículos.

Espermatogénesis. Maduración de espermátides en espermatozoides.

Estrógenos. Hormonas sexuales feminizantes producidas por los ovarios.

Fagocitosis. Proceso por el cual los fagocitos ingieren y destruyen microorganismos, desechos celulares y otros materiales extraños.

Feto. Individuo en desarrollo *in utero*.

Fimbrias. Estructuras digitiformes presentes en el extremo de las trompas de Falopio.

Folículo ovárico. Nombre en general de los ovocitos inmaduros.

Folículo. Saco o cavidad secretoria que contiene un grupo de células, incluido un ovocito en desarrollo en el ovario.

Gameto. Célula sexual masculina o femenina.

Glándula del pene. Región más grande en el extremo del pene.

Gónada. Glándula que produce hormonas y gametos: en el varón, testículos, y en la mujer, ovarios.

Gonadotropinas. Hormonas de la adenohipófisis que influyen en las gónadas.

Gonadotropina coriónica. Hormona producida por la placenta en desarrollo.

Haploide. Que tiene la mitad del número característico de cromosomas.

Hormona. Secreción de células endocrinas que modifica la actividad fisiológica de las células blanco.

Hormona folículo-estimulante (FSH). Hormona secretada por la adenohipófisis; inicia el desarrollo de un óvulo.

In utero. Dentro del útero.

Inhibina. Hormona secretada por las gónadas que inhibe la liberación de FSH por la adenohipófisis.

Istmo. Banda estrecha de tejido o conducto estrecho que conecta dos estructuras más grandes.

Lateral. Más alejado de la línea media del cuerpo.

Ligamento ancho. Pliegue doble del peritoneo parietal que fija el útero al costado de la cavidad pélvica.

Ligamento. Tejido conjuntivo regular denso.

Luteotropina. Hormona secretada por la adenohipófisis que estimula la ovulación y prepara las glándulas de la mama para producir leche. Estimula la secreción de testosterona en los testículos.

Meato. Paso o abertura.

Meiosis. Tipo de división celular que ocurre durante la producción de gametos.

Menopausia. Terminación de los ciclos menstruales.

Miometrio Capa de músculo liso del útero.

Orquidopexia. Cirugía para desplazar un testículo no descendido al escroto y fijarlo permanentemente ahí.

Ovario. Gónada femenina.

Ovocito. Óvulo inmaduro.

Ovogénesis. Formación y desarrollo de los gametos femeninos.

Ovulación. Rotura de un folículo de Graaf maduro con expulsión de un ovocito secundario.

Óvulo. Gameto femenino.

Pene. Órgano masculino de cópula y micción.

pH. Medida de la acidez o alcalinidad.

Placenta. Órgano unido al recubrimiento del útero durante la gestación.

Progesterona. Hormona sexual femenina producida por los ovarios.

Prolactina. Hormona secretada por la adenohipófisis que inicia y mantiene la producción de leche.

Red testicular. Red de conductos en los testículos.

Semen. Líquido expulsado por la eyaculación.

Tejido conjuntivo. Tipo más abundante de tejido en el cuerpo; proporciona soporte.

Testículos. Gónadas masculinas.

Testosterona. Hormona sexual masculina.

Uretra. Conducto que va de la vejiga urinaria al exterior del cuerpo y transporta orina en la mujer, y orina y semen en el varón.

Útero. Órgano muscular hueco en la mujer, también llamado matriz.

Vagina. Órgano tubular muscular de la mujer que va del útero al vestíbulo.

Vulva. Genitales externos de la mujer.

Bibliografía

- Blaivas, M. and Brannam, L. (2004) *Testicular ultrasound. Emergency Medical Clinics of North America* **22**(3):723–724.
- British Association for Sexual Health and HIV (2012) *A BASHH Guide to Condoms*.
http://www.bashh.org/BASHH/Public___patient_information/Condoms.aspx (accessed 30 November 2015).
- British Society for Sexual Medicine (2013) *Guidelines on the Management of Erectile Dysfunction*. <http://www.bssm.org.uk/downloads/default.asp> (accessed 30 November 2015).
- Colbert, B.J., Ankney, J. and Lee, K.T. (2012) *Anatomy and Physiology for Health Professionals. An Interactive Journey*, 2nd edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Jenkins, G.W. and Tortora, G.J. (2012) *Anatomy and Physiology. From Science to Life*, 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Laws, T. (2006) *A Handbook of Men's Health*. Edinburgh: Elsevier.
- LeMone, P. and Burke, K. (2011) *Medical–Surgical Nursing. Critical Thinking in Client Care*, 5th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Marieb, E.N. (2012) *Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. San Francisco, CA: Pearson.
- McGuinness, H. (2013) *Anatomy and Physiology. Therapy Basics*, 4th edn. London: Hodder.
- Nair, M. and Peate, I. (2009) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- National Institute of Health and Care Excellence (2012) *Ectopic Pregnancy and Miscarriage*. NICE guideline CG154.
<http://www.nice.org.uk/guidance/cg154> (accessed 30 November 2015).
- Peate, I. (2009) *Men's Health*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Stanfield, C.L. (2011) *Principles of Human Physiology*, 4th edn. Boston, MA: Pearson.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B. (2012) *Essentials of Anatomy and Physiology*, 9th edn. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Waugh, A. and Grant, A. (2014) *Ross and Wilson Anatomy and Physiology in Health and Illness*, 12th edn. Edinburgh: Churchill Livingstone.

Lecturas adicionales

Family Planning Association

<http://www.fpa.org.uk>

La Family Planning Association es una organización de salud sexual sin fines de lucro que proporciona información directa, orientación y apoyo en el ámbito de salud sexual, sexo y relaciones.

Prostate Cancer UK

<http://prostatecanceruk.org>

Prostate Cancer UK tiene el objetivo de ayudar a varones a sobrevivir al cáncer de próstata y disfrutar de una mejor calidad de vida. Ofrece apoyo a varones y proporciona información, patrocina investigaciones, crea conciencia y mejora la atención.

Endometriosis UK

<http://www.endometriosis-uk.org>

Organismo sin fines de lucro dedicado a proporcionar información sobre la endometriosis y apoyar a los afectados por ella.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. La célula que se genera en la fecundación es:
 - (a) Ovocito.
 - (b) Cigoto.
 - (c) Espermatozoide.
 - (d) Semen.
2. Los espermatozoides se almacenan y maduran en:
 - (a) Epidídimo.
 - (b) Óvulo.
 - (c) Testículos.
 - (d) Conducto deferente.
3. La principal hormona sexual masculina es:
 - (a) Testosterona.
 - (b) Estrógeno.
 - (c) Progesterona.
 - (d) Todas las anteriores.
4. La glándula que libera una pequeña cantidad de líquido antes de la eyaculación es:
 - (a) Conducto eyaculador.
 - (b) Próstata.
 - (c) Glándula de Cowper.
 - (d) Glándula bulbouretral.
5. Los túbulos seminíferos producen:
 - (a) Semen.
 - (b) Inhibina.
 - (c) Folitropina.
 - (d) Nada de lo anterior.
6. Las hormonas que estimulan el crecimiento de las glándulas mamarias y los pasos iniciales del proceso de secreción de leche son:
 - (a) Testosterona y progesterona.
 - (b) Estrógeno y testosterona.
 - (c) Estrógeno y progesterona.
 - (d) Estrógeno e inhibina.
7. En los folículos primarios, ¿cuándo se desarrollan los ovocitos primarios?
 - (a) Cuando la mujer alcanza la pubertad.
 - (b) El momento varía.
 - (c) Cuando la mujer alcanza la menopausia.
 - (d) Antes del nacimiento de la mujer.
8. Si no ocurre el embarazo, ¿qué sucede con el cuerpo amarillo?
 - (a) Degenera.
 - (b) Causa embarazo ectópico.
 - (c) Permanece y se convierte en un nuevo ovocito secundario.
 - (d) Causa infección.

9. La endometriosis puede definirse como:
- (a) Cáncer.
 - (b) Infección de transmisión sexual.
 - (c) Un tipo de alergia.
 - (d) Tejido del endometrio que se encuentra fuera del útero.
10. ¿De qué manera los anticonceptivos orales a base de estrógeno y progesterona impiden el embarazo?
- (a) Causan hipertrofia del endometrio.
 - (b) Suprimen la hormona folículo-estimulante y luteinizante, con lo que impiden la ovulación.
 - (c) Licúan el semen.
 - (d) Causan una disminución en la testosterona que produce la mujer.

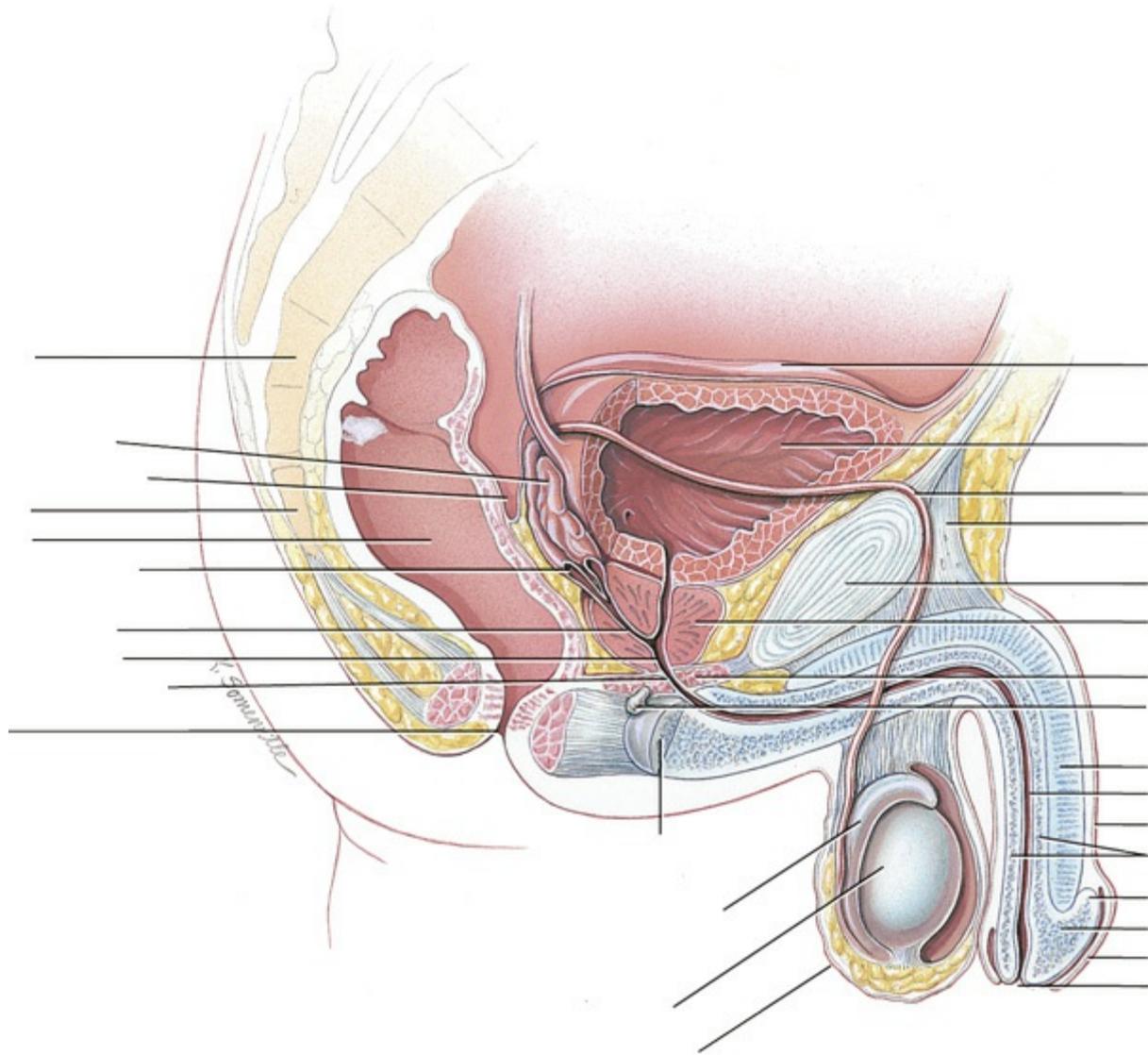
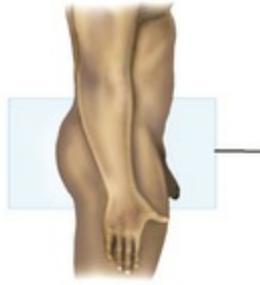
Falso o verdadero

1. La oxitocina se combina con enzimas en el semen para favorecer la motilidad de los espermatozoides.
2. Disfunción eréctil y eyaculación precoz son el mismo trastorno.
3. Los folículos ováricos contienen óvulos maduros.
4. La ovulación ocurre hacia el final del ciclo ovárico.
5. La principal función del útero es recibir, retener y nutrir un óvulo fecundado.
6. El vaginismo es una infección de transmisión sexual.
7. El endometrio es el delicado revestimiento mucoso del útero.
8. El factor de riesgo más importante para el desarrollo de cáncer testicular es la alimentación.
9. La extensión del músculo cremáster causa la erección del pene.
10. La hormona testosterona sólo se detecta en varones.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

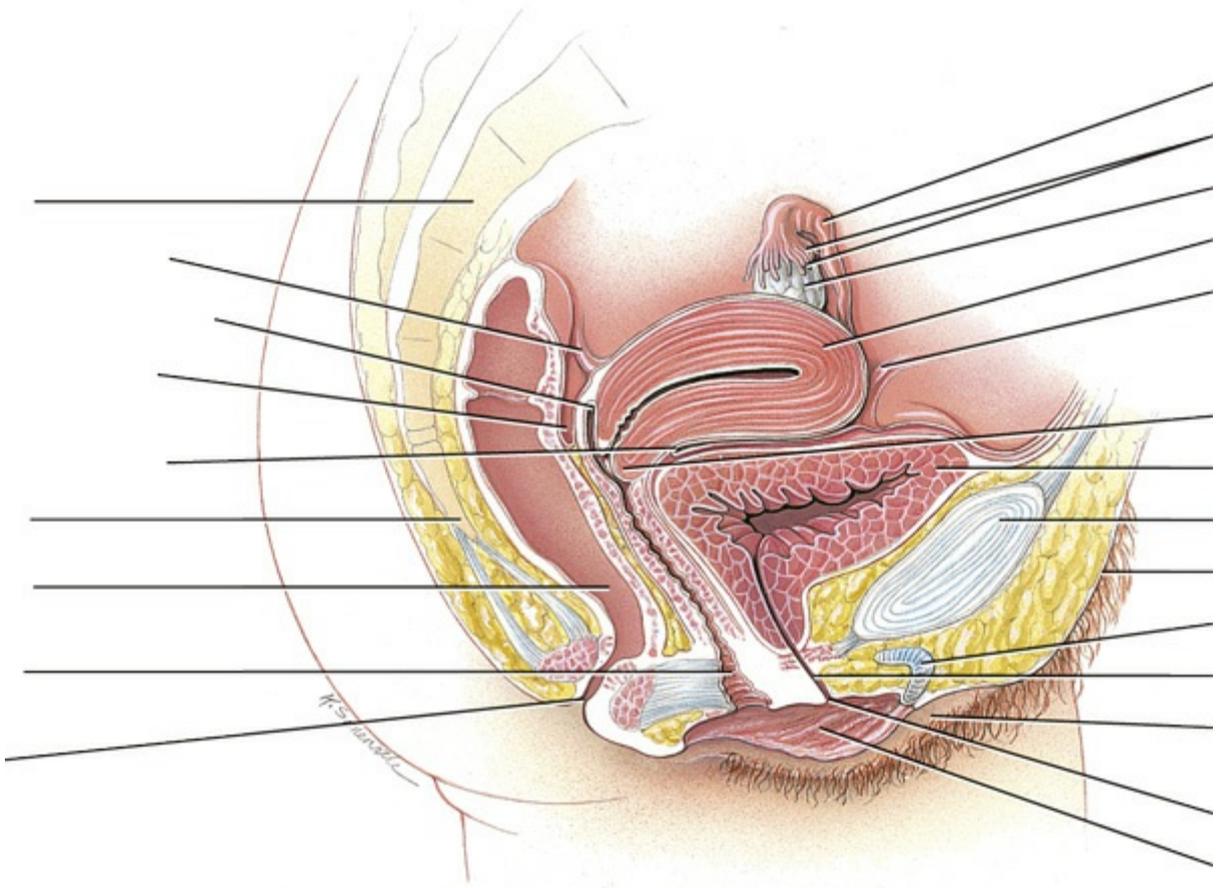
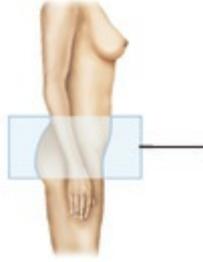
Plano sagital, Sacro, Vesícula seminal, Saco vesicorrectal, Cóccix, Recto, Ampolla del conducto deferente, Conducto eyaculador, Uretra prostática, Uretra membranosa, Ano, Bulbo del pene, Epidídimo, Testículo, Escroto, Peritoneo, Vejiga urinaria, Conducto deferente, Ligamento suspensorio del pene, Sínfisis del pubis, Próstata, Músculos profundos del perineo, Glándula bulbouretral (de Cowper), Cuerpos cavernosos del pene, Uretra esponjosa (peneana), Pene, Cuerpo esponjoso del pene, Corona, Glande del pene, Prepucio, Orificio uretral externo



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Plano sagital, Sacro, Ligamento uterosacro, Fondo de saco posterior de la vagina, Bolsa rectouterina (fondo de saco de Douglas), Fondo de saco vesicouterino, Cóccix, Recto, Vagina, Ano, Trompa de Falopio (tuba uterina), Fimbrias, Ovario, Útero, Ligamento redondo del útero, Cuello uterino, Vejiga urinaria, Sínfisis del pubis, Monte del pubis, Clítoris, Uretra, Labio mayor, Orificio uretral externo, Labio menor



Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | T | O | L | U | C | I | L | O | F | F | N | M | D | W |
| A | L | E | O | M | A | T | O | F | E | N | E | T | I | S |
| B | B | O | S | G | A | C | I | N | O | N | G | F | H | S |
| U | J | F | Y | T | Z | V | A | N | S | M | A | R | R | A |
| L | N | N | I | N | O | M | U | T | I | H | R | E | E | D |
| B | R | O | X | M | R | S | R | L | V | I | T | N | S | A |
| O | S | C | I | E | B | U | T | E | V | S | S | I | T | N |
| U | S | R | P | P | A | R | S | E | A | A | E | L | R | O |
| R | C | S | E | C | O | I | I | M | R | P | O | L | O | G |
| E | E | W | I | P | C | L | E | A | N | O | T | O | G | H |
| T | Y | O | Q | U | W | R | A | J | S | X | N | J | E | B |
| R | N | X | L | O | C | O | U | F | J | Z | O | A | N | V |
| A | P | A | W | F | Q | Z | C | S | F | Y | T | G | O | L |
| L | S | O | N | I | L | O | T | R | A | B | J | B | S | E |
| L | Z | A | K | B | E | V | E | S | T | I | B | U | L | O |

Acinos, Bartolino, Bulbouretral, Cowper, Cremáster, Falopio, Fimbrias, Folículo, Frenillo, Gónadas, Menstruación, Estrógeno, Esperma, Testosterona, Vesículas, Vestíbulo, Vulva

Llene los espacios 1

La _____ es el sangrado _____ normal que ocurre como parte del ciclo con periodicidad _____ de la mujer. Cada mes, el cuerpo de la mujer se _____ para el _____. Si éste no ocurre, el _____ (también llamado _____) _____ su _____. El fluido menstrual es en parte _____ y en parte _____ del _____ del útero. _____ del cuerpo por la _____.

vaginal, mensual, embarazo, sale, recubrimiento, tejido, prepara, sangre, matriz, interior, pierde, útero, menstruación, vagina

Llene los espacios 2

La menopausia es un _____ de la vida de la mujer que _____ el fin de su periodo _____. _____ el fin de la _____. Esto implica que los _____ de la mujer _____ de producir un _____ cada cuatro _____ y ya no hay un periodo _____. Después de la _____ una mujer ya _____ puede tener _____.

dejan, hijos, periodo, significa, reproductivo, menstruación, ovarios, semanas,

mensual, óvulo, significa, menopausia, no

Para profundizar

1. ¿Qué es la circuncisión quirúrgica?
2. Comente los diversos métodos de anticoncepción.
3. ¿Qué aconsejaría a un varón que está considerando usar sildenafil por primera vez?
4. ¿Cuál es la función de la enfermera en la protección de personas vulnerables?
5. ¿Cómo puede la enfermera asegurarse de que la información proporcionada a distintas comunidades sea apropiada y útil?
6. Delinee las barreras que pueden encontrarse cuando se valora la salud sexual de una persona.
7. ¿Cómo puede la enfermera reducir el impacto de las barreras identificadas antes?
8. Describa los cambios que pueden ocurrir en el proceso normal de envejecimiento en relación con el aparato reproductor femenino.
9. Enumere las situaciones que podría tener que enfrentar un varón después de una prostatectomía.
10. Comente los servicios y sistemas de apoyo disponibles para madres jóvenes en su comunidad.

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con el aparato reproductor. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Prostatitis

Cervicitis

Cáncer uterino

Endometriosis

Eyaculación precoz



Capítulo 13

Sistema nervioso

Louise McErlean y Janet G Migliozi

Ponga a prueba sus conocimientos previos

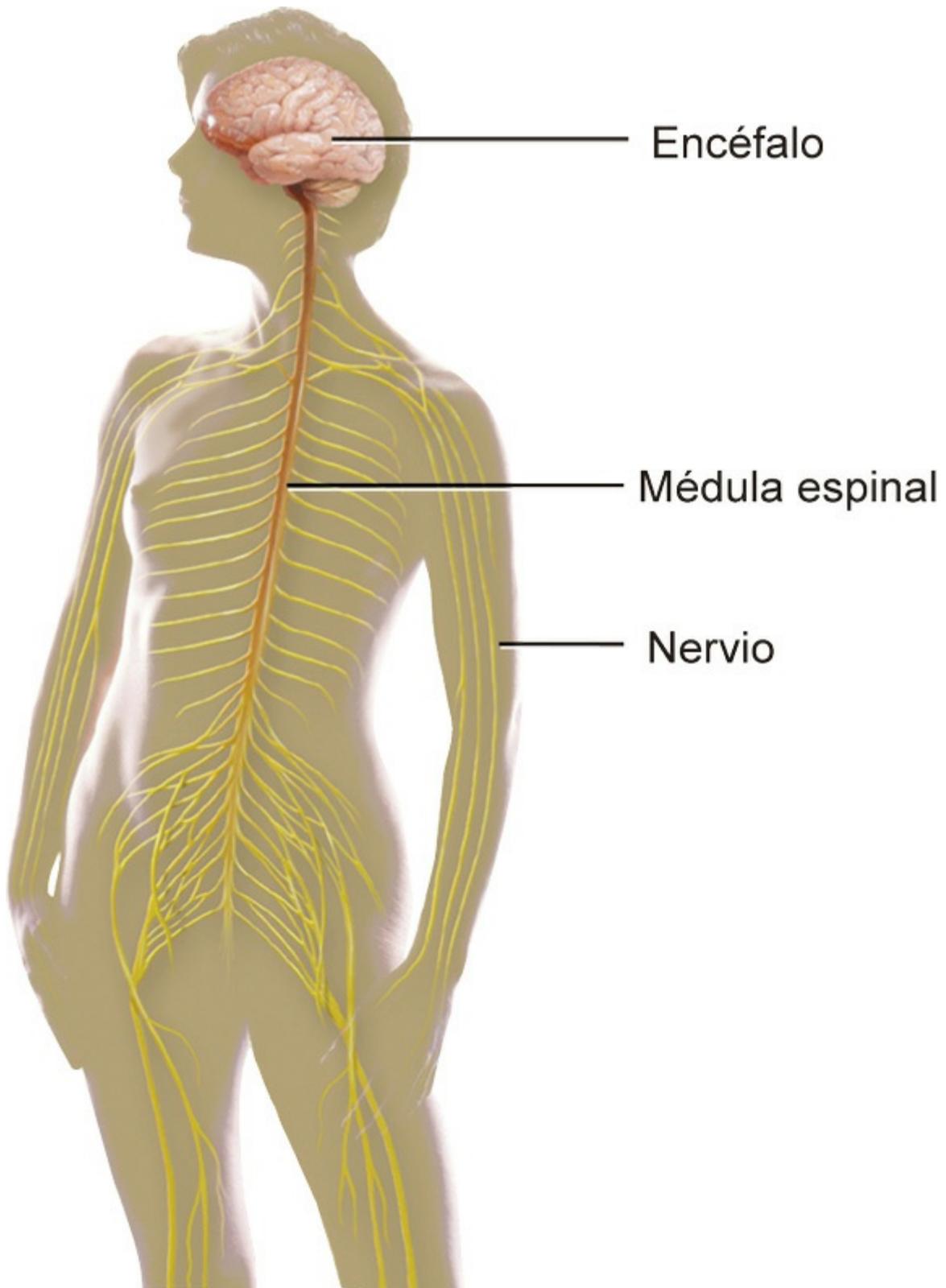
- ¿Con cuál otro aparato o sistema actúa en estrecha colaboración el sistema nervioso?
- Enumere las estructuras del sistema nervioso central
- ¿Cuántos pares de nervios craneales existen?
- Nombre las dos divisiones del sistema nervioso autónomo
- Distinga entre información sensitiva e información motora

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir las estructuras del sistema nervioso
- Describir algunas de las funciones de cada una de esas estructuras
- Describir la conducción de los impulsos nerviosos
- Enumerar las funciones de las células de la neuroglia
- Identificar la función de diferentes regiones del encéfalo
- Comprender la estructura y función de la médula espinal
- Distinguir entre las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso

Mapa del cuerpo



Introducción

El sistema nervioso es un importante centro de comunicaciones y control del organismo. Trabaja en colaboración con el sistema endocrino para controlar muchas funciones corporales. El sistema nervioso emite una respuesta rápida y de efecto breve, mientras que el sistema endocrino envía una respuesta más lenta pero a menudo más sostenida. Ambos trabajan juntos para mantener la homeostasis.

El sistema nervioso interactúa con todos los otros aparatos y sistemas. Es grande y complejo. Para facilitar la comprensión del sistema nervioso se le divide en partes funcionales y anatómicas más pequeñas. En este capítulo se delinean las divisiones del sistema nervioso; se exponen su estructura y función y el modo en que influye en otras estructuras del organismo. Al tener una función tan importante en el mantenimiento de la homeostasis, el sistema nervioso cuenta con protección adicional, que también será analizada en este libro.

Organización del sistema nervioso

El sistema nervioso puede dividirse en dos partes: el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico. El sistema nervioso central consiste en encéfalo y médula espinal y es el centro de control e integración de muchas funciones corporales.

El sistema nervioso periférico lleva información sensitiva hacia el sistema nervioso central e información motora desde el sistema nervioso central. El sentido de flujo de la información hacia y desde el sistema nervioso es importante, y se muestra en la figura 13-1.

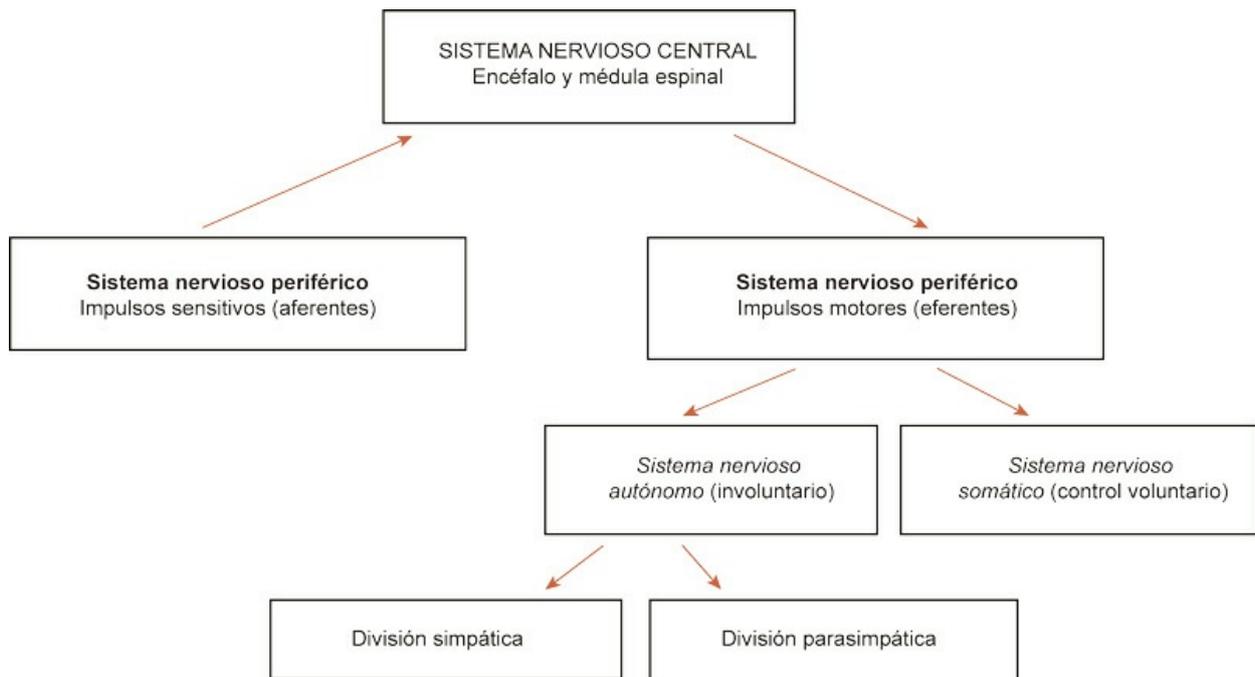


Figura 13-1. Organización del sistema nervioso.

División sensitiva del sistema nervioso periférico

La información sensitiva (estímulos) se recaba tanto del interior como del exterior del cuerpo. Es llevada al sistema nervioso central por los nervios periféricos. Las fibras nerviosas sensitivas también se denominan fibras aferentes. La información sensitiva siempre viaja del sistema nervioso periférico hacia el sistema nervioso central. Hay muchos tipos distintos de información sensitiva, como el dolor, presión, temperatura, concentración de sustancias, etc. Considérese el mantenimiento de la temperatura corporal. En el ser humano, un animal de sangre caliente, es importante que la temperatura corporal se mantenga entre 36.5 y 37.5 °C. Receptores de temperatura en la piel, llamados termorreceptores, detectan cambios de temperatura, y dado que dichos cambios tienen el potencial de causar daño a células y tejidos, esta información debe enviarse al sistema nervioso central para, de ser necesario, tomar medidas pertinentes.

Sistema nervioso central

El sistema nervioso central consiste en el encéfalo y la médula espinal. Este sistema procesa e integra información sensitiva. La información recibida debe interpretarse, y puede almacenarse para acciones posteriores o inmediatas con una o más respuestas motoras. Por ejemplo, la sensación de cambio de temperatura sería recibida e interpretada por el hipotálamo (una estructura del sistema nervioso central), y se iniciaría la acción correspondiente.

División motora del sistema nervioso periférico

La división motora del sistema nervioso periférico siempre lleva impulsos desde el sistema nervioso central, por lo común a órganos efectores. Las fibras nerviosas motoras también se llaman fibras eferentes. Hay dos tipos de información motora: la que va al sistema nervioso somático y la que va al sistema nervioso autónomo.

Sistema nervioso somático

El sistema nervioso somático está bajo control voluntario, y el efector (tejido u órgano que reacciona a la instrucción del sistema nervioso central) es el músculo esquelético (voluntario).

La respuesta del sistema nervioso central a la información sensitiva puede ser activar el sistema nervioso somático, para inducir una reacción voluntaria que implique movimiento del músculo esquelético. Así, continuando con el ejemplo de la temperatura, si se detecta un aumento de temperatura, entonces podría requerirse quitarse el abrigo o abrir una ventana; ésta es la respuesta motora en que participa el sistema nervioso somático. Es una actividad voluntaria que la persona elige realizar.

Sistema nervioso autónomo

La respuesta del sistema nervioso central a la información sensitiva puede ser activar el sistema nervioso autónomo. Esto llevaría a una acción involuntaria. El sistema nervioso autónomo se encarga de las respuestas motoras involuntarias. El efector puede ser músculo liso o cardíaco (ambos involuntarios) o una glándula.

En el ejemplo del aumento de temperatura, la respuesta involuntaria es perder calor a través de la piel; en este caso, la sangre caliente se dirige a la piel, donde los vasos sanguíneos periféricos se dilatan. La vasodilatación es un ejemplo de respuesta involuntaria del sistema nervioso autónomo. El individuo no puede controlar esta respuesta.

El sistema nervioso autónomo se subdivide en las divisiones simpática (lucha o huida) y parasimpática (reposo y digestión). El sistema nervioso autónomo se abordará más adelante en este capítulo. Se requiere un equilibrio fino entre ambas divisiones para el mantenimiento de la homeostasis.

Neuronas

La unidad funcional del sistema nervioso es la célula nerviosa o neurona. Ésta tiene muchas características en común con otras células, incluidos un núcleo y mitocondrias, pero debido a su función vital está muy protegida y tiene algunas modificaciones especializadas. Dos características especializadas de las neuronas son:

- **Irritabilidad**, en reacción a un estímulo: la capacidad de iniciar un impulso

nervioso.

- **Conductividad**, la capacidad de conducir un impulso.

Las neuronas consisten en axón, dendritas y cuerpo (soma o pericarion). Su función es transmitir impulsos nerviosos. Los impulsos nerviosos viajan en un solo sentido: de la zona receptiva –las dendritas– al soma, y a lo largo del axón (figura 13-2).

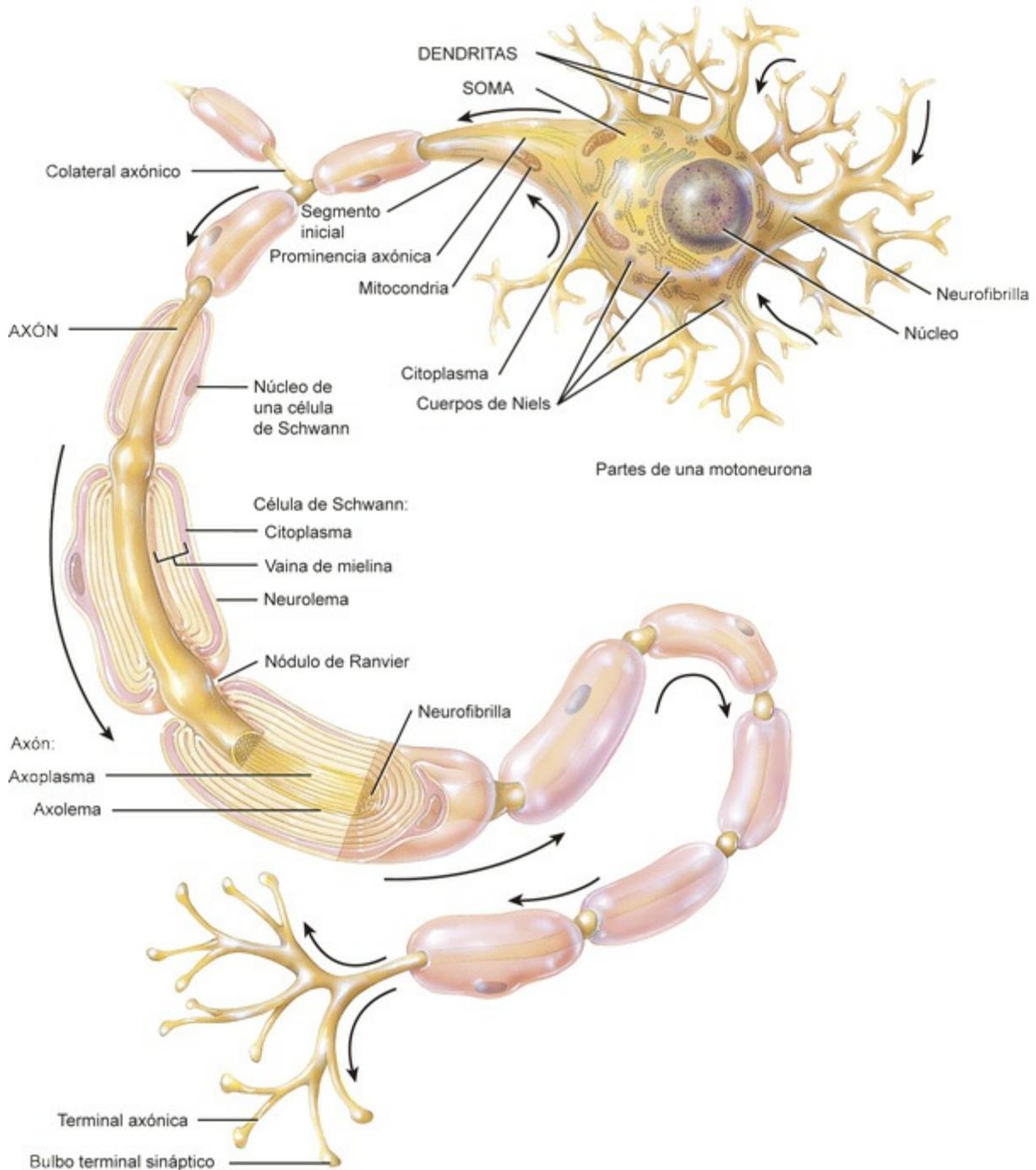


Figura 13-2. Neurona motora (motoneurona). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los axones que se reúnen en haces reciben el nombre de nervios. Las neuronas

dependen de un suministro constante de oxígeno y glucosa. Una vez que las neuronas de encéfalo y médula espinal han madurado después del nacimiento no se reemplazan o regeneran si se dañan. Las neuronas periféricas pueden regenerarse si el soma no se daña y si no se altera la alineación de la neurona.

Dendritas

Las dendritas son proyecciones ramificadas cortas que reciben información y la conducen hacia el soma. Sus proyecciones ramificadas cuentan con una extensa área superficial para esta función. En las neuronas sensitivas, las dendritas pueden formar parte de los receptores sensitivos, y en las neuronas motoras pueden formar parte de la sinapsis entre una neurona y la siguiente.

Cuerpo celular

La mayoría de los somas neuronales se localizan dentro del sistema nervioso central y forman la materia gris. Cuando se reúnen grupos de somas en el sistema nervioso central se les llama núcleos. Los somas del sistema nervioso periférico se denominan ganglios.

Axones

Cada neurona tiene un solo axón que lleva información desde el soma. El axón puede ramificarse para formar un colateral axónico (figura 13-2). El axón también se ramifica en su extremo o terminal, al reunirse con muchas otras terminales axónicas. El axón lleva el impulso a otra neurona o a una glándula o un músculo.

La longitud del axón puede variar mucho, de muy corta a 100 cm (Marieb y Hoehn, 2013).

Vaina de mielina

Los axones de nervios periféricos y los axones largos o grandes están cubiertos por una vaina de mielina. La mielina es una sustancia adiposa que protege la neurona y la aísla eléctricamente, con lo que acelera la transmisión de impulsos. La vaina de mielina consiste en células de Schwann del sistema nervioso periférico que se enrollan en capas alrededor de la neurona. La parte más externa de la célula de Schwann es su membrana plasmática, llamada neurilema. Hay un espacio regular (alrededor de 1 mm) entre células de Schwann adyacentes. Los espacios se llaman nódulos de Ranvier. Puede haber colaterales axónicos en el nódulo (figura 13-2). Algunas fibras nerviosas no están mielinizadas (y se les llama “desmielinizadas”), por lo que en ellas la transmisión de impulsos nerviosos es mucho más lenta.

Consideraciones clínicas

Esclerosis múltiple

La esclerosis múltiple es una enfermedad en la que puede haber zonas de desmielinización (placas) de la materia blanca (fibras mielinizadas de la materia blanca). La esclerosis múltiple afecta a personas de 20 a 40 años y se presenta más en climas templados. Se desconoce su causa, pero se sospecha que puede haber un factor genético; también se ha implicado una infección viral. El daño neuronal causado por la desmielinización ocasiona:

- Debilidad del músculo esquelético, que a menudo progresa hasta la parálisis.
- Trastornos visuales.
- Movimientos descoordinados.
- Sensaciones de ardor u hormigueo.

La esclerosis múltiple puede ser una enfermedad crónica caracterizada por periodos de remisión, o avanzar con rapidez y causar la muerte.

Nervios sensitivos (aférentes)

Las dendritas de las neuronas sensitivas a menudo son receptores sensitivos, y cuando se les estimula el impulso generado viaja hacia la médula espinal y el encéfalo. Hay diferentes tipos de receptores sensitivos:

- De sentidos especiales (que se exponen en el capítulo 14).
- Receptores sensitivos somáticos, localizados en la piel, como los de tacto, temperatura y dolor.
- Receptores del sistema nervioso autónomo, situados en todo el cuerpo, como barorreceptores que vigilan la presión arterial, quimiorreceptores que vigilan el pH sanguíneo, y receptores de dolor visceral.
- Propiorreceptores, que vigilan el movimiento, estiramiento y dolor en los músculos.

Nervios motores (eferentes)

La información procedente del sistema nervioso central se transporta al sistema nervioso periférico a través de nervios motores. La información que se transmite por un nervio somático voluntario puede dar por resultado la contracción de músculos esqueléticos, o la información puede ser de naturaleza autónoma (neurovegetativa), no bajo control voluntario, y ocasionar contracción de músculos lisos o la liberación de los productos de una glándula.

Potencial de acción

El sistema nervioso es una vasta red de comunicaciones que envía información de los ambientes interno y externo al sistema nervioso central, y del sistema nervioso central a músculos y glándulas. La manera en que la unidad funcional, la neurona, realiza esto es mediante la generación y conducción de impulsos o potenciales de acción.

El potencial de acción se genera debido al movimiento de iones hacia dentro y fuera de la neurona y el cambio eléctrico causado por este movimiento.

Intervienen dos iones principales:

- Sodio: por lo general localizado fuera de la célula (principal catión extracelular).
- Potasio: normalmente dentro de la célula (principal catión intracelular).

Propagación simple de impulsos nerviosos

Cuando no se está transmitiendo un impulso la célula se encuentra en su estado de reposo; se dice que la membrana neuronal está polarizada. Cuando es estimulada por un impulso, la membrana celular cambia su permeabilidad y los iones sodio extracelulares ingresan en la célula, lo que se denomina despolarización. El movimiento de estos iones cambia la carga eléctrica a ambos lados de la membrana celular, de más positiva fuera de la célula a más negativa dentro de la célula, a medida que el impulso viaja a lo largo del axón. Esta actividad crea el potencial de acción. Dicho proceso ocurre en una onda a lo largo de la neurona, de la parte activa a la parte en reposo, siempre en un sentido. Al mismo tiempo, salen iones potasio de la neurona al espacio extracelular, con lo que se restablece la carga eléctrica relacionada con la neurona polarizada, más positiva fuera de la célula y más negativa dentro. Ésta es la fase de repolarización. Se activa la bomba de sodio-potasio para devolver sodio al espacio extracelular a cambio del potasio (figura 13-3).

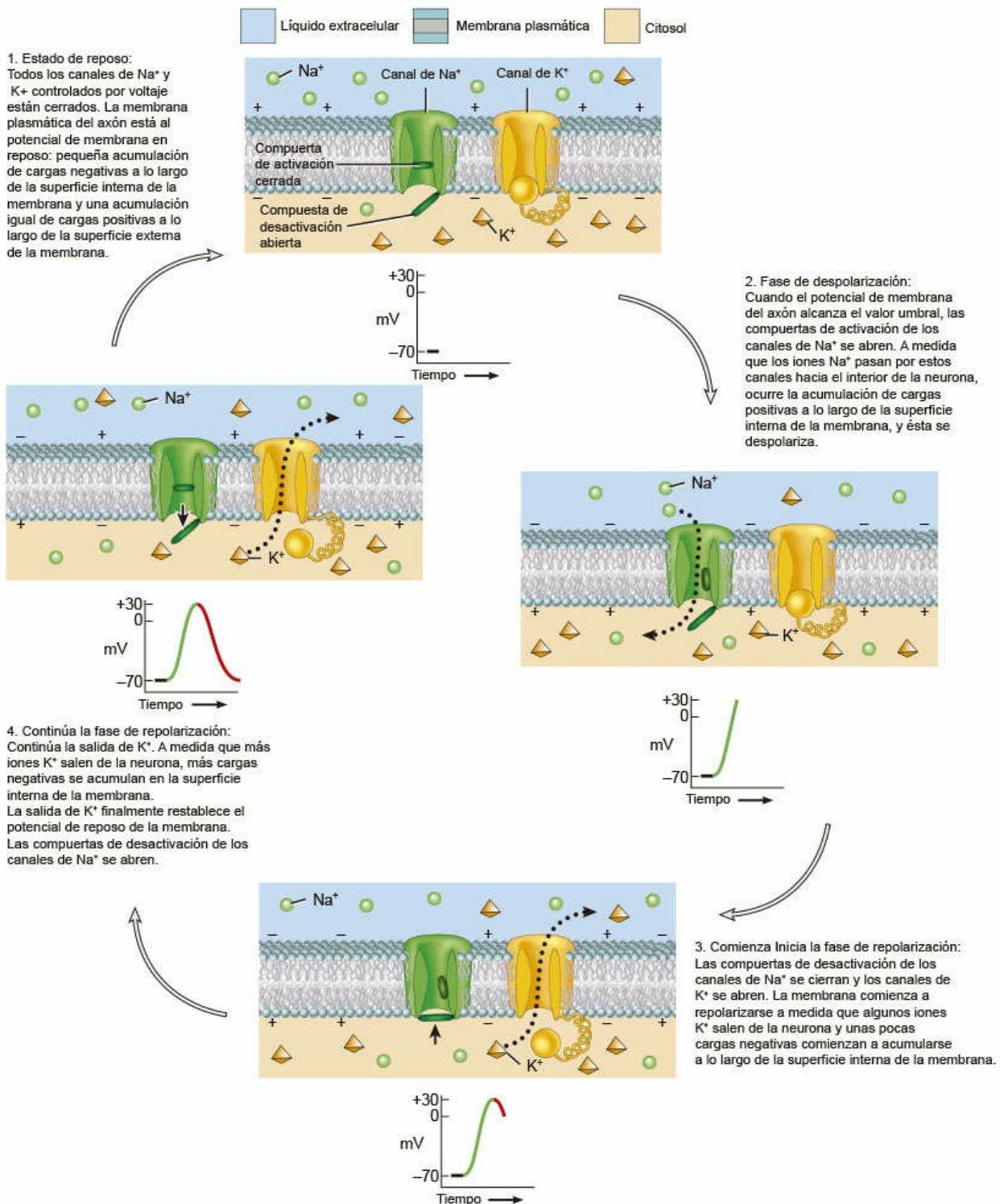


Figura 13-3. Potencial de acción. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Conducción saltatoria

La conducción saltatoria ocurre en neuronas mielinizadas cuando la carga eléctrica relacionada con el impulso nervioso salta entre un nódulo de Ranvier y el siguiente. Esto es más rápido que la simple propagación. La conducción también es más rápida cuando la neurona tiene mayor diámetro.

Periodo refractario

Cuando se estimula el potencial de acción, la neurona no puede aceptar otro impulso o generar otro potencial de acción, sin importar cuán fuerte sea el impulso. El tiempo que esto dura se conoce como periodo refractario.

Neurotransmisores

Las neuronas no hacen contacto entre sí. Donde comienza una neurona y termina otra, hay un espacio llamado sinapsis. Para que ocurra la comunicación entre neuronas o entre la neurona y un músculo o glándula, la neurona secreta un mensajero químico llamado neurotransmisor en el espacio extracelular en la sinapsis. Aquellas células efectoras o neuronas en estrecha proximidad con el neurotransmisor serán estimuladas o inhibidas por éste, según el que se secrete. La acción del neurotransmisor es breve, y lo que no se use de él es absorbido por la neurona para ser reciclado y vuelto a usar, o es desactivado por enzimas.

Algunos ejemplos de neurotransmisores son:

- Acetilcolina, liberada en el sistema nervioso central y también en la unión neuromuscular.
- Noradrenalina, liberada en el sistema nervioso central y también en las sinapsis del sistema nervioso autónomo.
- Dopamina, liberada en el sistema nervioso central y también en las sinapsis del sistema nervioso autónomo.

Aplicación clínica

Un electroencefalograma (EEG) registra la actividad encefálica. En especial es útil para diagnosticar afecciones como la epilepsia, demencia y encefalopatía.

Se colocan electrodos en la cabeza y se conectan al electroencefalógrafo. Entonces se mide la actividad eléctrica generada por los impulsos nerviosos. Durante la EEG, a veces se pide al paciente que respire en forma profunda o parpadee varias veces. Se emplean diferentes tipos de EEG para determinar posibles inductores de actividad convulsiva, como EEG durante el sueño, EEG con privación de sueño, EEG ambulatoria y EEG con luces estroboscópicas.

El examen puede realizarse en la consulta externa (excepto la EEG durante el sueño), y el resultado puede llevar a establecer o modificar un plan terapéutico.

Neuroglia

La neuroglia (figura 13-4) da soporte a las neuronas. Sus células son más numerosas que las neuronas. En el sistema nervioso central, las células de la neuroglia representan más de la mitad del peso del encéfalo (Marieb y Hoehn, 2013). Sus células pueden multiplicarse para apoyar a las neuronas. Debido a ello, los tumores del sistema nervioso a menudo se originan en la neuroglia.

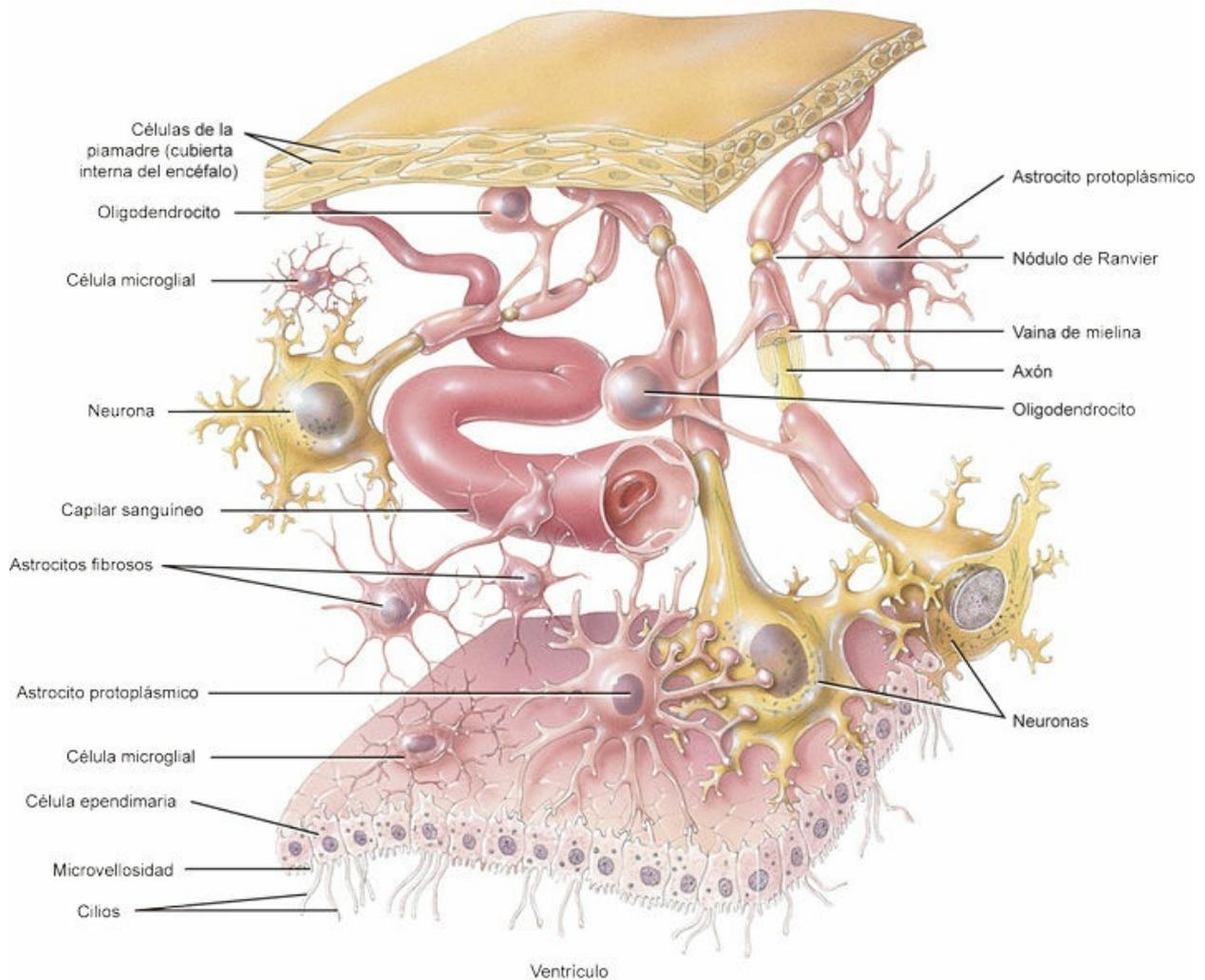


Figura 13-4. Neuroglia. Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

En el sistema nervioso periférico se han identificado dos tipos de neuroglia:

1. Células de Schwann, responsables de formar la vaina de mielina.
2. Células satélite, cuya función se desconoce.

En el sistema nervioso central se han identificado cuatro tipos de células de la neuroglia:

1. Astrocitos, células con forma de estrella que se encuentran en grandes cantidades entre las neuronas y los vasos sanguíneos, dándoles soporte y

fijándolos entre sí. Ayudan a formar la barrera hematoencefálica, que da a las neuronas una capa extra de protección contra cualesquiera sustancias tóxicas en la sangre.

2. Células microgliales, situadas cerca de las neuronas; cumplen más una función como macrófagos del sistema nervioso. Fagocitan patógenos y desechos celulares.
3. Oligodendrocitos, situados cerca de las neuronas mielinizadas. Ayudan a formar y mantener la vaina de mielina.
4. Células ependimarias, a menudo ciliadas; recubren cavidades, como la médula espinal o los ventrículos cerebrales. Su función es hacer circular el líquido cefalorraquídeo (LCR) (Waugh y Grant, 2014).

Meninges

El tejido nervioso se daña con facilidad ante una presión, y por ello debe ser protegido. El cabello, piel y hueso constituyen una capa externa de protección. Adyacentes al tejido nervioso se encuentran las meninges (figura 13-5), que cubren el delicado tejido nervioso y le dan protección adicional. También protegen los vasos sanguíneos que irrigan el tejido nervioso, y contienen LCR.

Las meninges son tres capas de tejido conjuntivo:

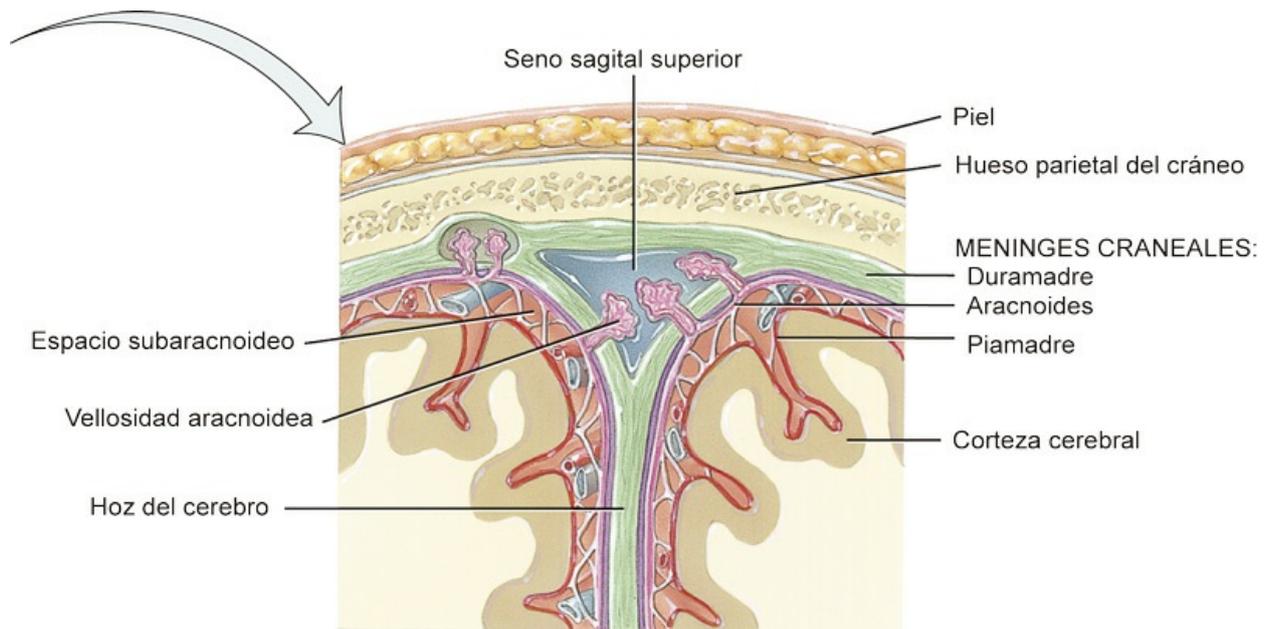


Figura 13-5. Meninges. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- **Duramadre:** esta capa es la más cercana al hueso del cráneo y consiste en una doble capa de tejido conjuntivo fibroso resistente. Su capa más externa es la capa perióstica (la médula espinal carece de ella), y la capa meníngea es la más cercana al encéfalo.
- **Aracnoides:** entre la duramadre y la aracnoides está el llamado espacio subdural. La aracnoides es una delicada membrana serosa (Seeley *et al.*, 2013). El espacio subaracnoideo se encuentra abajo de la aracnoides y arriba de la piamadre. Contiene LCR y aloja algunos de los vasos más grandes que irrigan el encéfalo.
- **Piamadre:** es una capa delicada de tejido conjuntivo que se une estrechamente al encéfalo. Contiene muchos vasos sanguíneos muy finos que irrigan el encéfalo.

Consideraciones clínicas

Meningitis

La meningitis es la inflamación de las meninges causada por bacterias o virus. Puede diagnosticarse con base en sus síntomas, como fotofobia, cefalea, náusea y vómito, y

también mediante un procedimiento llamado punción lumbar. En la punción lumbar se extrae una pequeña cantidad de LCR y se examina en el laboratorio en busca de microorganismos. No tratar de inmediato puede tener consecuencias funestas.

Líquido cefalorraquídeo

El LCR es producido por el plexo coroides en los ventrículos cerebrales (figura 13-6). Hay unos 150 mL de LCR circulando en el encéfalo, los ventrículos y alrededor de la médula espinal. El LCR se recambia cada 8 h (Marieb and Hoehn, 2013). Es un líquido delgado similar al plasma y tiene varias funciones importantes:

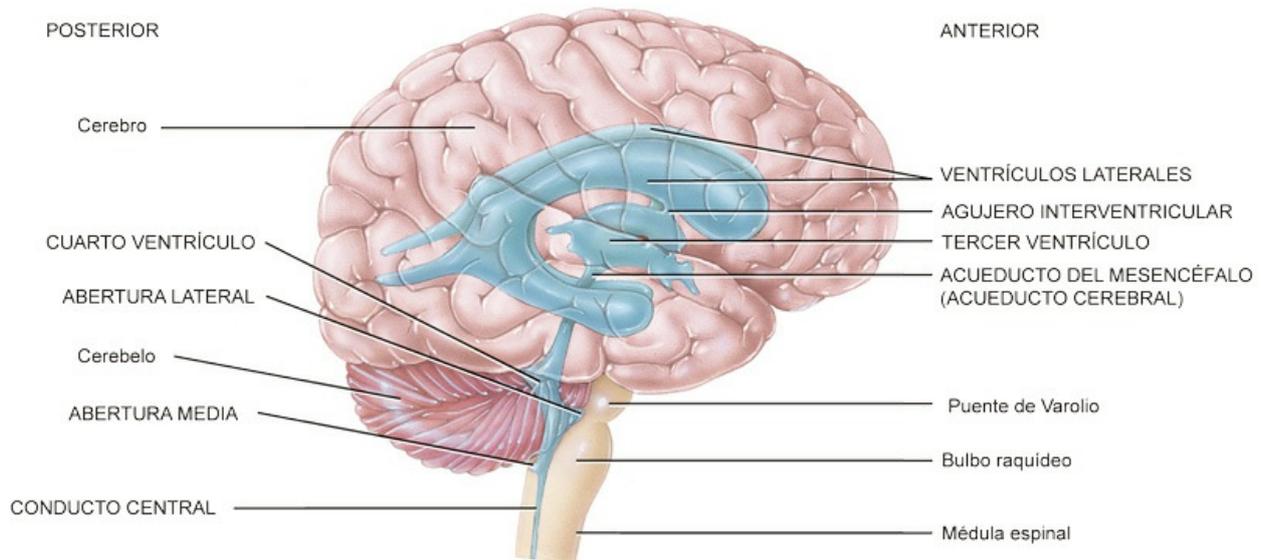


Figura 13-6. Ventrículos (vista lateral derecha del encéfalo). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Actúa como un amortiguador de impactos, que soporta el peso del encéfalo y lo protege.
- Ayuda a mantener una presión uniforme alrededor del encéfalo y la médula espinal.
- Permite un intercambio limitado de nutrientes y productos de desecho entre neuronas y LCR.

Hay cuatro ventrículos en el cerebro: dos ventrículos laterales, uno en cada hemisferio cerebral; el tercer ventrículo, situado abajo; y el cuarto ventrículo, inferior al tercero. El tercero y cuarto ventrículos se comunican mediante el conducto central, y el LCR circula por el conducto central y hasta la médula espinal.

Cualquier presión adicional que se aplique al encéfalo a causa de tumefacción (edema cerebral), tumor o hemorragia (por traumatismo) puede hacer que se reduzca la producción de LCR.

Aplicación clínica

A menudo se usa la punción lumbar para diagnosticar afecciones como la meningitis y la esclerosis múltiple.

Se extrae una muestra de LCR y se envía al laboratorio para su análisis. La muestra se

toma insertando una aguja entre la tercera y cuarta vértebras lumbares, y el LCR se extrae del espacio subaracnoideo. Esta maniobra suele efectuarse bajo anestesia local.

El LCR circula alrededor del encéfalo y la médula espinal. La presión ejercida por el LCR se conoce como presión intracraneal (PIC). La PIC normal es de 8 a 20 cm H₂O. Si la PIC se eleva podría deberse a diversas razones, como edema cerebral (p. ej. por lesión craneoencefálica), traumatismo encefálico o meningitis. También podría estar elevada por un exceso de leucocitos, proteínas o mielina en el LCR, como en la esclerosis múltiple.

El LCR debe ser incoloro. La turbidez puede indicar infección. El LCR suele tener la viscosidad del agua. Si es más viscoso podría indicar infección o un tumor. El análisis de laboratorio permite una interpretación más precisa que la sola inspección visual.

El análisis de laboratorio indicará por ejemplo la cantidad de glucosa, proteínas e inmunoglobulinas presentes en el LCR. Los leucocitos pueden analizarse, y también se investiga la presencia de bacterias y virus.

Hay efectos secundarios de la punción lumbar, como dolor en el sitio de la inserción de la aguja, y cefalea. A menudo esta última se resuelve permaneciendo acostado.

Encéfalo

El encéfalo se ubica en la cavidad craneal y pesa entre 1 450 y 1 600 g (Marieb y Hoehn, 2013). Recibe 15% del gasto cardíaco y tiene un sistema de **autorregulación** que asegura que el suministro sanguíneo sea constante pese a los cambios de posición. La disposición de las arterias que irrigan el encéfalo es única, y están conectadas entre sí por una estructura llamada círculo de Willis (figura 13-7). Esta disposición asegura que la presión arterial sea la misma en ambas mitades del encéfalo. Si una de las arterias que irrigan el encéfalo se estrecha (estenosa) a causa de una enfermedad arterial o un trombo, habrá una vía alterna disponible, para mantener el suministro esencial de oxígeno y glucosa requerido por el encéfalo.

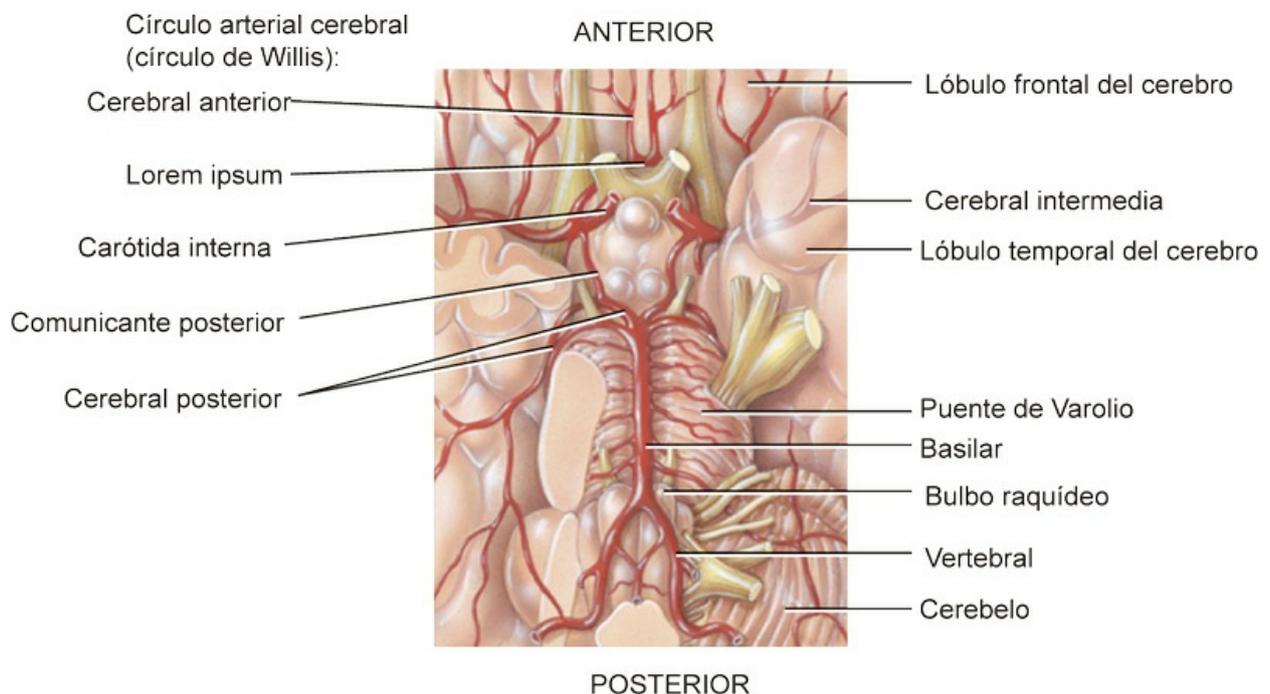


Figura 13-7. Círculo de Willis. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El encéfalo puede dividirse en cuatro regiones anatómicas. Cada región contiene una o más estructuras (figura 13-8):

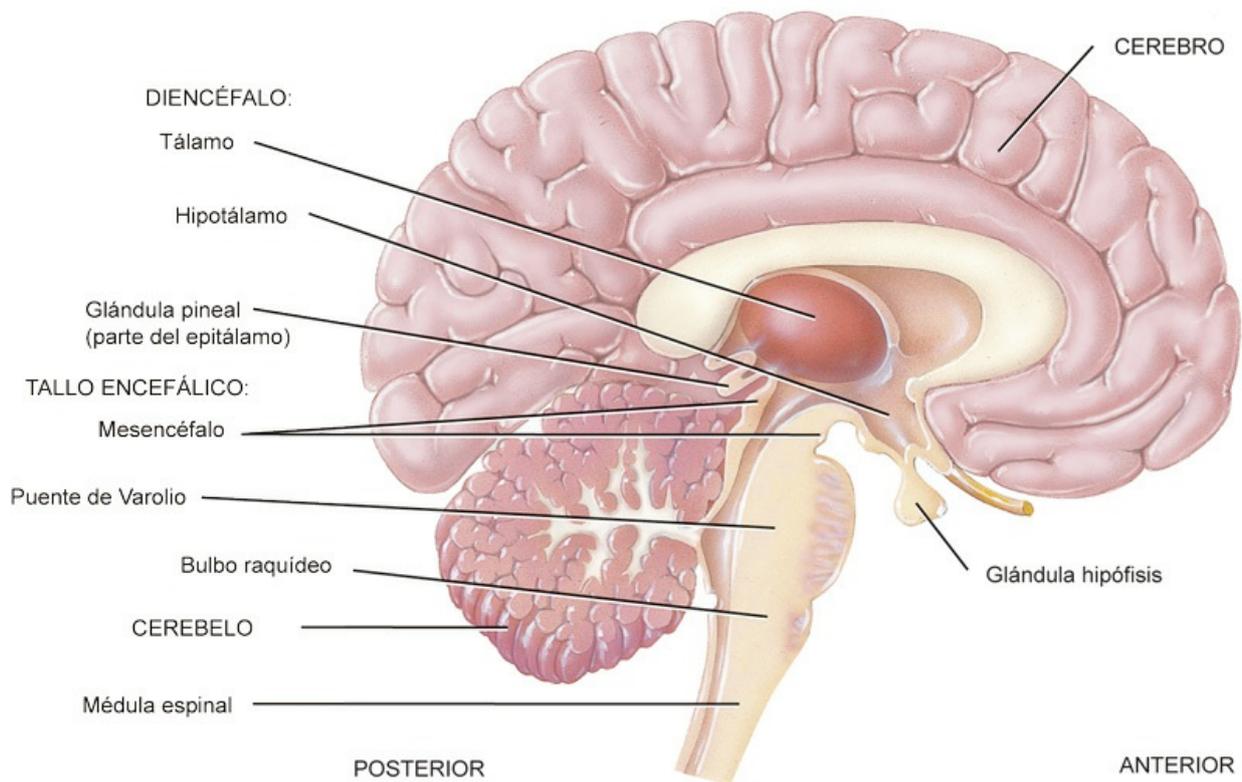


Figura 13-8. Estructuras del encéfalo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Cerebro.
- Hemisferios cerebrales.
- Diencéfalo.
- Tálamo.
- Hipotálamo.
- Epitálamo.
- Tallo encefálico.
- Mesencéfalo.
- Puente de Varolio.
- Bulbo raquídeo.
- Formación reticular.
- Cerebelo.

Cerebro

Es la estructura más grande del encéfalo. Está dividido en los hemisferios izquierdo y derecho por la **cisura longitudinal del cerebro**. Cada hemisferio puede dividirse en lóbulos: occipital, frontal, parietal y temporal. La capa externa del cerebro es la corteza cerebral y consiste de materia gris (somatos). Las capas abajo de ésta son de materia blanca (fibras nerviosas). La corteza cerebral es responsable de la mente consciente y consiste en interneuronas (las neuronas situadas entre neuronas sensitivas y motoras). La corteza cerebral puede dividirse en zonas funcionales, que fueron ubicadas por K. Brodmann en 1906 (figura 13-9). Los números encerrados en un círculo en el diagrama representan

regiones importantes en el mapa de Brodmann. Si bien se han identificado las zonas funcionales y estructurales del encéfalo, es importante recordar que no funcionan de manera independiente entre sí, y el daño de una estructura puede tener consecuencias para la otra.

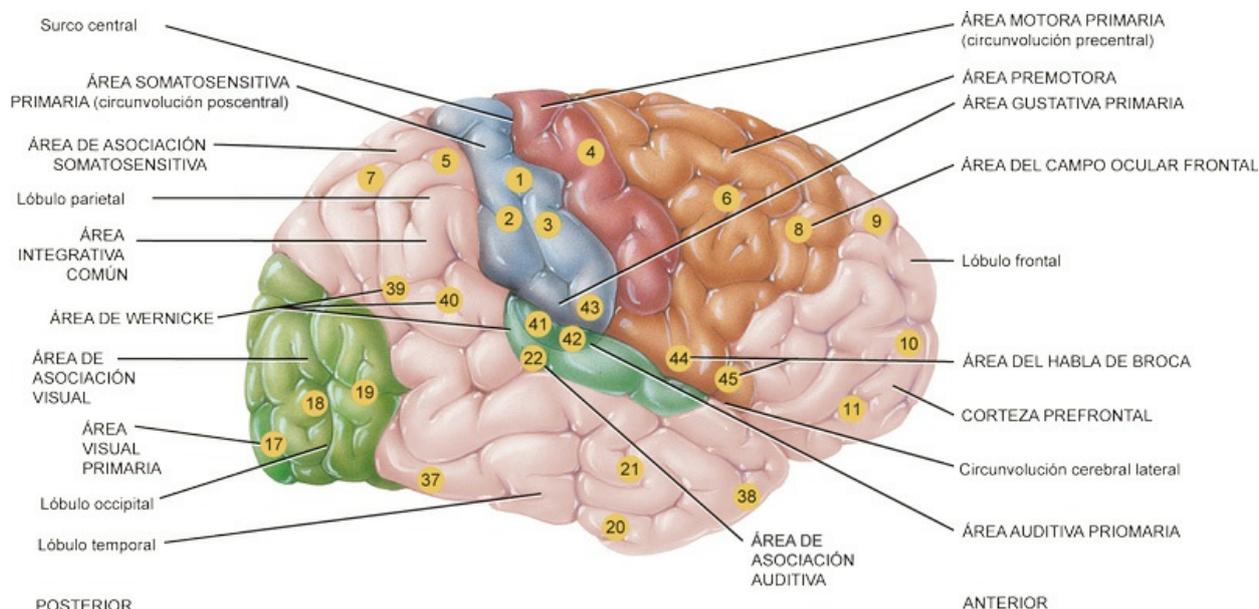


Figura 13-9. Hemisferio cerebral derecho. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La primera zona funcional es el área motora, y se subdivide como sigue:

- Área motora primaria: responsable de la contracción de músculos esqueléticos.
- Área premotora: implicada en el movimiento fino de músculos esqueléticos que crea la destreza manual relacionada con movimientos motores repetitivos o aprendidos (p. ej. atarse las cintas de los zapatos, aprender a pintar).
- Área de Broca: responsable del movimiento motor requerido para producir el habla.
- Área del campo ocular frontal: controla el movimiento voluntario de los ojos.

La segunda zona funcional es el área sensitiva, encargada de advertir la sensación. Puede dividirse como sigue:

- Área somatosensitiva primaria: recibe información sensitiva de la piel y también de propioceptores en músculos esqueléticos.
- Área de asociación somatosensitiva: integra la información sensitiva que se envía al área somatosensitiva primaria y da información sobre tamaño, textura, experiencia previa.
- Áreas visuales: el área visual primaria recibe información desde el ojo, y el área de asociación visual ayuda a conectar esta información con experiencias visuales pasadas.
- Áreas auditivas: relacionadas con la interpretación de los sonidos.
- Área olfativa: interpreta información olfativa recibida de la nariz vía los

nervios olfativos.

- Área gustativa: interpreta información sobre sabores.

Hay muchas otras áreas de asociación en el cerebro que actúan como áreas de comunicación entre diferentes regiones funcionales en el cerebro, como el área de Wernicke, que se encarga de la comprensión del lenguaje escrito y hablado y se relaciona estrechamente con el área del habla de Broca.

Diencéfalo

Esta parte del encéfalo está rodeada por el cerebro y contiene tres estructuras pares:

- Tálamo: actúa como estación de reenvío para impulsos sensitivos que van a la corteza cerebral para su integración, e impulsos motores que entran y salen de los hemisferios cerebrales. También participa en la memoria.
- Hipotálamo: se relaciona estrechamente con la glándula hipófisis y produce dos hormonas: vasopresina (ADH) y oxitocina. El hipotálamo tiene muchas funciones, por ejemplo:
 - Control de la temperatura corporal.
 - Control del sistema nervioso autónomo.
 - Control del equilibrio hídrico y de la sed.
 - Control del apetito.
 - Relación con el sistema límbico, que maneja las reacciones emocionales.
 - Control de las conductas sexuales.
- Epitálamo: esta estructura se relaciona con la glándula pineal, que secreta la hormona melatonina, responsable de los ciclos de sueño y vigilia.

Tallo encefálico

Las estructuras que componen el tallo encefálico intervienen en muchas actividades esenciales para la vida. El tallo encefálico se relaciona con los pares craneales.

- Mesencéfalo: vía de conducción que conecta el cerebro con las estructuras inferiores del encéfalo y la médula espinal.
- Puente de Varolio: también una vía de conducción que comunica con el cerebelo. El puente de Varolio actúa con el bulbo raquídeo para controlar la profundidad y frecuencia respiratorias.
- Bulbo raquídeo: estación de reenvío para los nervios sensitivos que van al cerebro. Contiene centros neurovegetativos (del sistema nervioso autónomo) como el centro cardiaco, centro respiratorio, centro vasomotor y centro de la tos, estornudo y vómito. El bulbo raquídeo también es el sitio de decusación de las vías piramidales; esto significa que el lado derecho del cuerpo es controlado por el hemisferio cerebral izquierdo, y viceversa.

Consideraciones clínicas

Conmoción cerebral

La conmoción cerebral es un traumatismo encefálico leve, y se define como un periodo breve de inconsciencia (VanMeter y Hubert, 2014). Entre los signos y síntomas se incluyen náusea, cefalea, mareo, dificultad para la concentración, amnesia (pérdida de la memoria), cansancio extremo e intolerancia a las luces y el ruido. Los síntomas suelen durar sólo 24 h.

Cerebelo

El cerebelo coordina el movimiento muscular voluntario, el equilibrio y la postura. Asegura que los movimientos musculares sean suaves, coordinados y precisos.

Sistema límbico y formación reticular

El sistema límbico y la formación reticular son sistemas más funcionales que anatómicos y consisten en redes de neuronas que pueden localizarse cerca de muchas estructuras anatómicas.

El sistema límbico se encuentra cerca del cerebro y del diencéfalo. Se le conoce como el encéfalo emocional y se encarga de interpretar la expresión facial, con lo que ayuda a identificar el temor y el peligro.

La formación reticular es un sistema funcional localizado en el centro del tallo encefálico, y consiste de un grupo de neuronas con varias funciones:

- Contiene el centro activador reticular, responsable del estado de alerta.
- Filtra o bloquea estímulos repetitivos, como el ruido de fondo.
- Regula la actividad del músculo esquelético.
- Coordina la actividad visceral controlada por el sistema nervioso autónomo.

El encéfalo es un centro de integración y control bien protegido que recibe información del sistema nervioso sensitivo periférico y envía información motora al sistema nervioso periférico a través de una extensa red de vías por medio de la médula espinal.

Manejo de medicamentos

Midazolam

El midazolam pertenece al grupo de las benzodiazepinas, que actúan sobre receptores del sistema nervioso central y producen un efecto sedante. Se cree que el midazolam provoca amnesia, y por lo tanto es útil en intervenciones en que se requiere que el paciente esté despierto y cooperativo a pesar de la naturaleza desagradable del procedimiento, por ejemplo, una endoscopia (Galbraith *et al.*, 2007). La intención es que el paciente no recuerde la intervención.

El midazolam tiene un efecto breve y una semivida de 2 a 3 h (Galbraith *et al.*, 2007).

Está disponible para su administración por distintas vías, como la intravenosa y la intramuscular.

Tiene varios efectos adversos, como:

- Insuficiencia respiratoria.
- Depresión respiratoria.
- Hipotensión.
- Anafilaxia.
- Convulsiones.
- Sequedad bucal.
- Estreñimiento.
- Náusea.
- Euforia.
- Hipo.
- Cefalea.

Dado que las benzodiazepinas son adictivas, se ha abusado de ellas. Se dispone del antagonista flumazenilo para revertir los efectos de esta medicación.

Las benzodiazepinas deben prescribirse con cautela.

Manejo de medicamentos

Fenitoína

Juan tiene 34 años y sufre convulsiones desde que se recuperó de una lesión encefálica. Por ello se le prescribe fenitoína sódica, 100 mg por vía oral tres veces al día. Este fármaco actúa durante el potencial de acción. Promueve la eliminación del sodio durante el periodo refractario, con lo que reduce la hiperexcitabilidad neuronal que puede causar las convulsiones (Galbraith *et al.*, 2007). Se recomienda a Juan que evite el alcohol y aplique prácticas apropiadas de higiene bucal, ya que este fármaco tiene como efecto adverso conocido la hiperplasia gingival (crecimiento excesivo de las encías).

Sistema nervioso periférico

El sistema nervioso periférico comprende todos los tejidos nerviosos situados fuera del sistema nervioso central:

- Pares craneales.
- Nervios raquídeos.
- Médula espinal.
- Sistema nervioso autónomo.

El sistema nervioso periférico se subdivide en el sistema eferente o motor y el sistema aferente o sensitivo. El sistema sensitivo somático inerva los músculos esqueléticos, articulaciones, tendones y piel e incluye los sentidos de la vista, oído, olfato y gusto (Logenbaker, 2013). Los órganos internos del cuerpo están inervados por el sistema sensitivo visceral. Tanto el sistema sensitivo somático como el visceral llevan información desde los receptores sensitivos periféricos hacia el sistema nervioso central.

Las órdenes del sistema nervioso central hacia los músculos esqueléticos son llevadas por el sistema motor somático. El sistema motor autónomo regula de manera predominante la actividad de los músculos lisos y cardíaco y las glándulas (Logenbaker, 2013).

Pares craneales

El cuerpo humano contiene 12 pares de nervios craneales que emergen del encéfalo e inervan diversas estructuras, la mayoría de las cuales se encuentran en la cabeza y el cuello. En la figura 13-10 se presenta un panorama general de la localización y las funciones de los pares craneales.

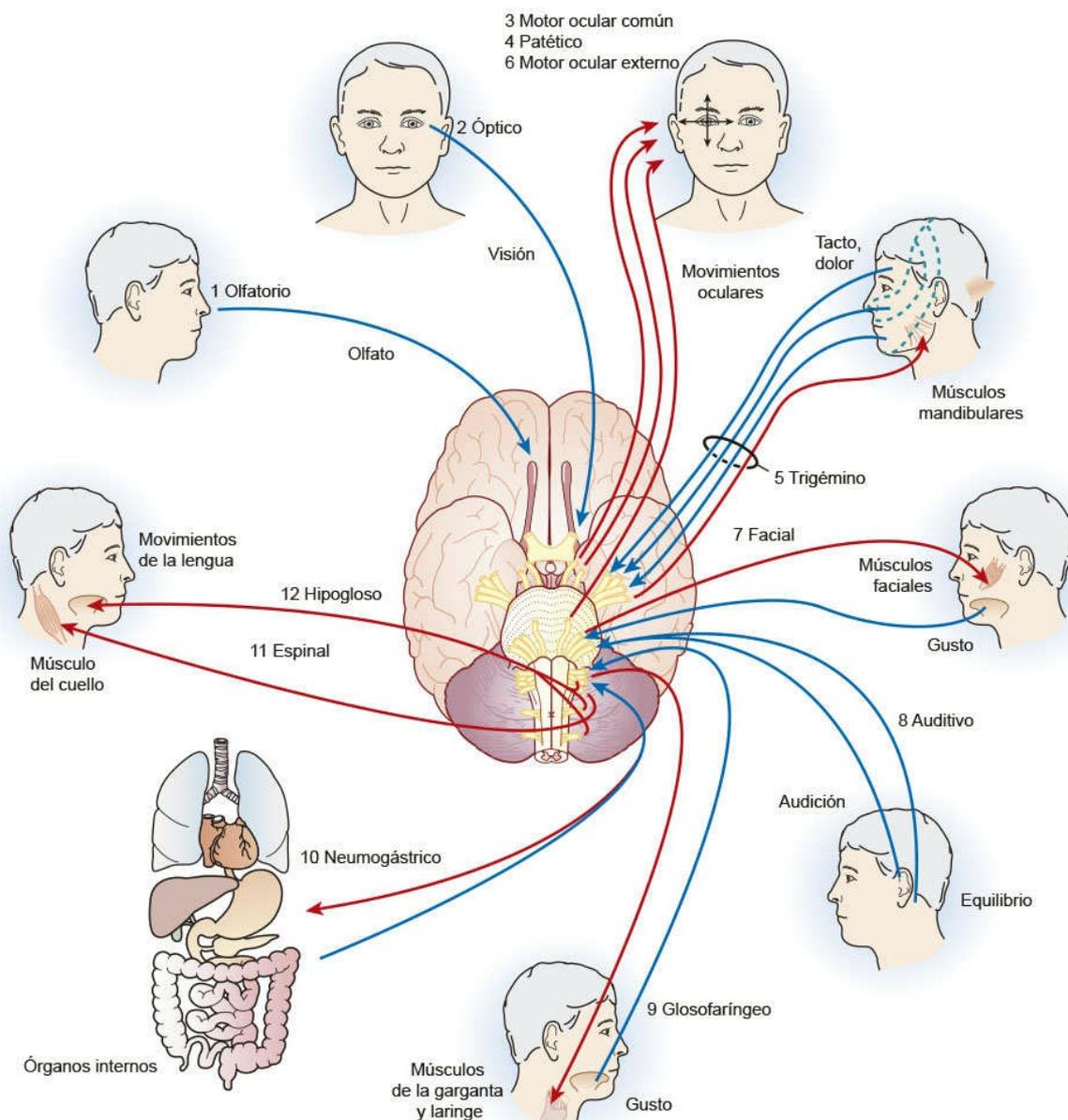


Figura 13-10. Funciones de los pares craneales.

Los 12 pares craneales difieren en sus funciones: algunos son nervios sensitivos (es decir, contienen fibras sensitivas), otros son nervios motores (esto es, sólo contienen fibras motoras) y algunos más son nervios mixtos (contienen tanto nervios sensitivos como motores).

En el cuadro 13-1 se resumen los pares craneales, sus distintos componentes y su función.

Cuadro 13-1. Pares craneales

| Número | Nombre | Componentes | Localización/función |
|--------|-----------|-------------|--|
| I | Olfatorio | Sensitivo | Receptores olfatorios para el sentido del olfato |
| II | Óptico | Sensitivo | Retina (vista) |

| | | | |
|------|---------------------------------|-------------------|---|
| III | Motor ocular común (oculomotor) | Motor | Músculos oculares (incluidos los de los párpados, cristalino y pupila) |
| IV | Patético (troclear) | Motor | Músculos oculares |
| V | Trigémino | Sensitivo y motor | Dientes, ojos, piel, lengua para percepción de tacto, dolor y temperatura |
| VI | Motor ocular externo (abductor) | Motor | Músculos mandibulares (masticación) Músculos oculares |
| VII | Facial | Sensitivo y motor | Botones gustativos Músculos faciales, glándulas lagrimales y salivales |
| VIII | Auditivo | Sensitivo | Oído interno (audición y equilibrio) |
| IX | Glosofaríngeo | Sensitivo y motor | Músculos faríngeos (deglución) |
| X | Neumogástrico (“vago”) | Sensitivo y motor | Órganos internos |
| XI | Espinal | Motor | Músculos del cuello y la espalda |
| XII | Hipogloso | Motor | Músculos de la lengua |

Médula espinal

La médula espinal del adulto promedio (figura 13-11) tiene entre 42 y 45 cm de longitud y se extiende desde el bulbo raquídeo (parte inferior del encéfalo) hasta la parte superior de la segunda vértebra lumbar. La médula espinal está encerrada en el conducto vertebral, que forma un anillo protector de hueso alrededor de la médula. Otras cubiertas protectoras son las meninges raquídeas, que son tres capas de tejido conjuntivo que se extienden alrededor de la médula espinal. Las meninges raquídeas son:

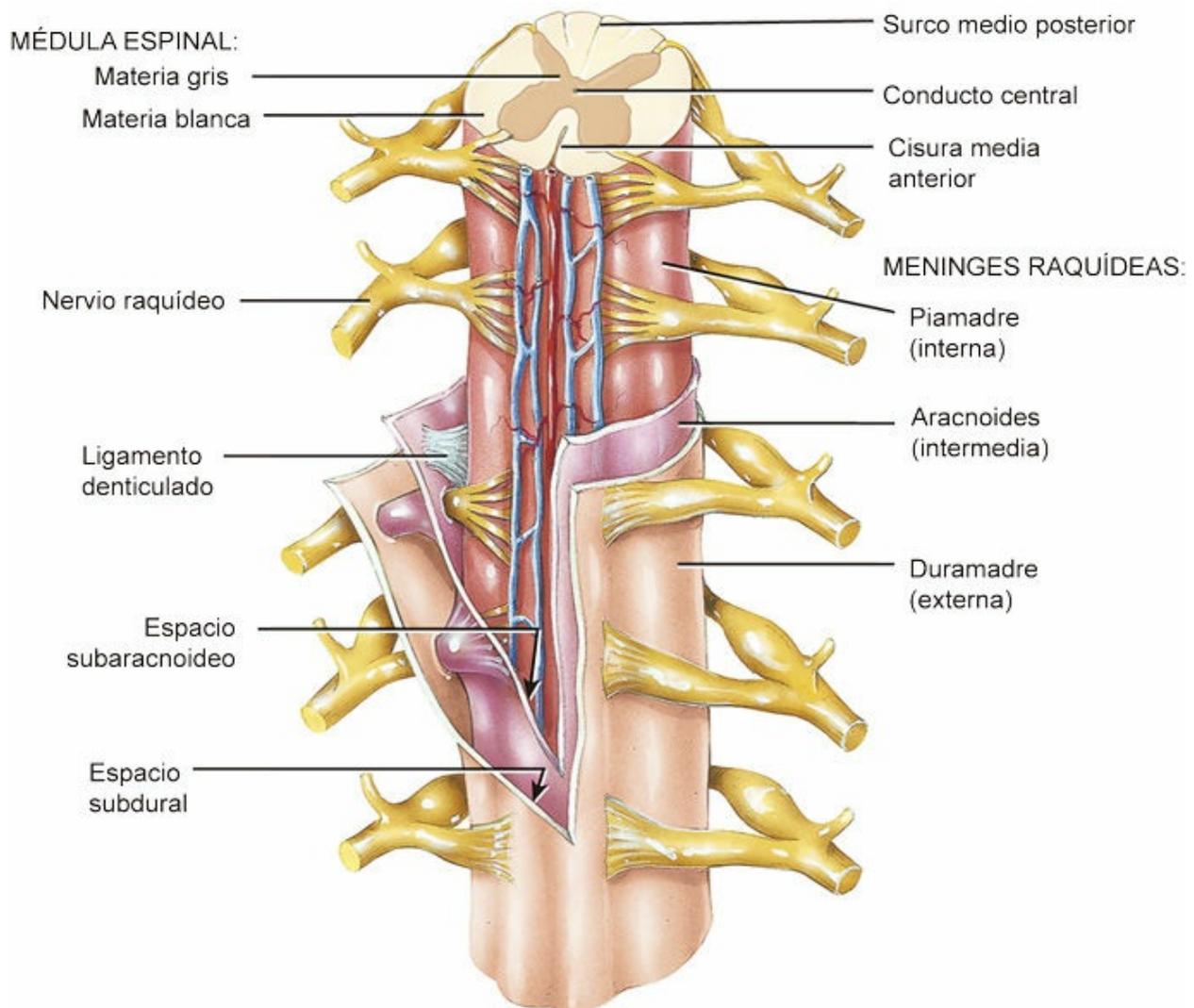


Figura 13-11. Médula espinal. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- **Piamadre:** la capa más interna.
- **Aracnoides:** la capa media.
- **Duramadre:** la capa más externa, que consiste en tejido conjuntivo irregular denso.

La médula espinal es un cilindro largo de materia gris y materia blanca. El

conducto central y las meninges raquídeas contienen LCR. La materia gris consiste sobre todo de somas y sus dendritas, y las zonas de materia blanca constan de los axones neuronales, que llevan señales arriba y abajo de la médula por vías ascendentes y descendentes. Estas vías se cruzan al entrar y salir del encéfalo, y esto explica por qué el lado derecho del encéfalo controla el lado izquierdo del cuerpo y el lado izquierdo del encéfalo controla el lado derecho del cuerpo.

La médula espinal está dividida en las mitades derecha e izquierda por la **cisura mediana anterior**, profunda, y el **surco medio posterior**, somero (Tortora y Derrickson, 2012).

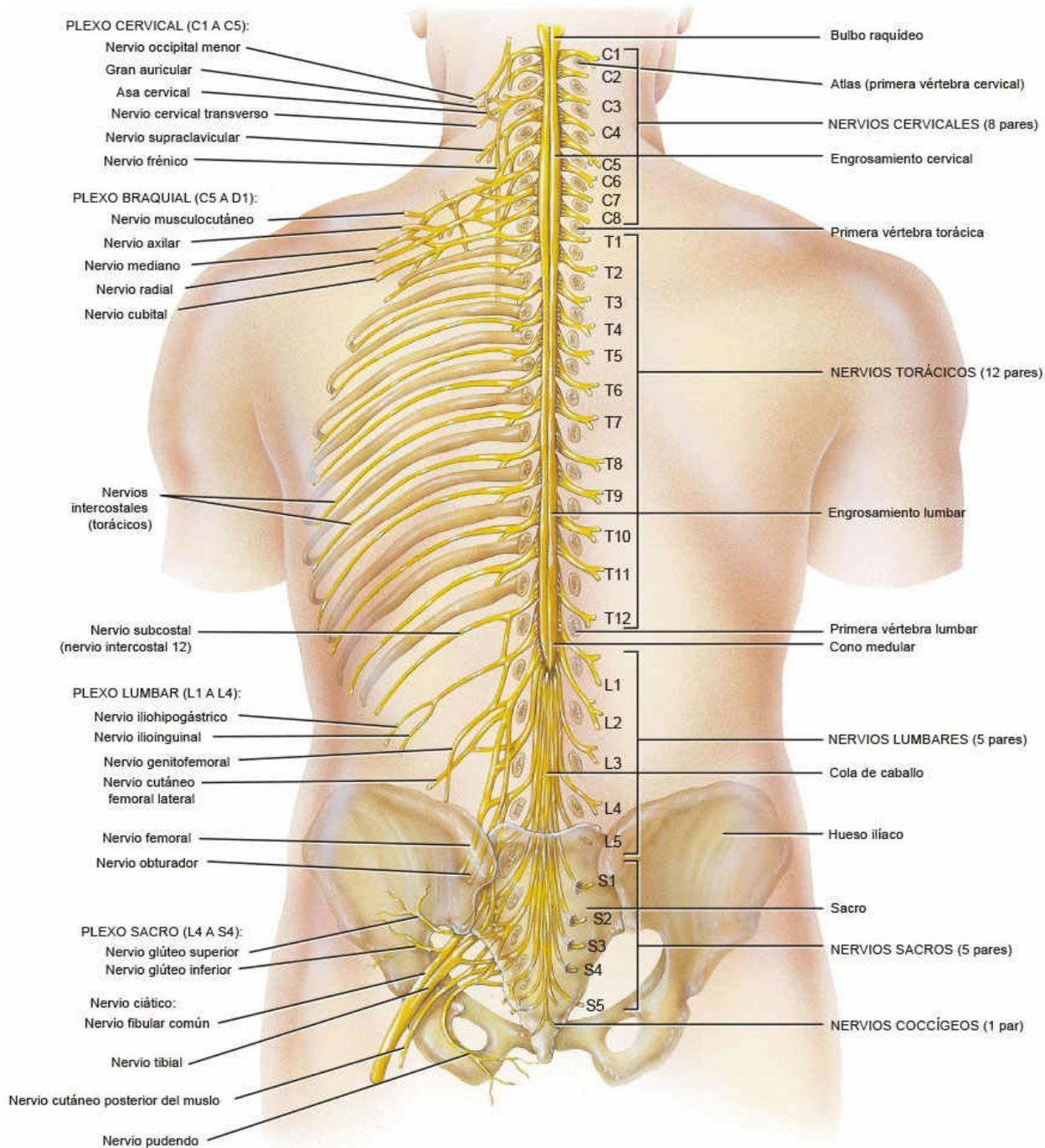
Funciones de la médula espinal

La médula espinal constituye un medio de comunicación entre el encéfalo y los nervios periféricos que salen de la médula espinal (Logenbaker, 2013) y tiene dos funciones principales en el mantenimiento de la homeostasis (Tortora y Derrickson, 2012):

- Las vías de la materia blanca de la médula espinal llevan impulsos sensitivos hacia el encéfalo e impulsos motores desde el encéfalo hacia los músculos esqueléticos y otros músculos efectores.
- La materia gris de la médula espinal es un sitio para la integración de reflejos, que es una acción involuntaria rápida para un estímulo en particular.

Nervios raquídeos

En el cuerpo humano hay 31 pares de nervios raquídeos unidos a la médula espinal, los cuales se nombran y numeran según la región y el nivel de la columna vertebral en que emergen (figura 13-12).



Vista posterior de toda la columna vertebral y porciones de los nervios raquídeos

Figura 13-12. Médula espinal y nervios raquídeos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cada nervio inerva un grupo de músculos (miotoma) y una zona de piel (dermatoma), y la mayoría también inervan algunos de los órganos torácicos y abdominales (figura 13-13).

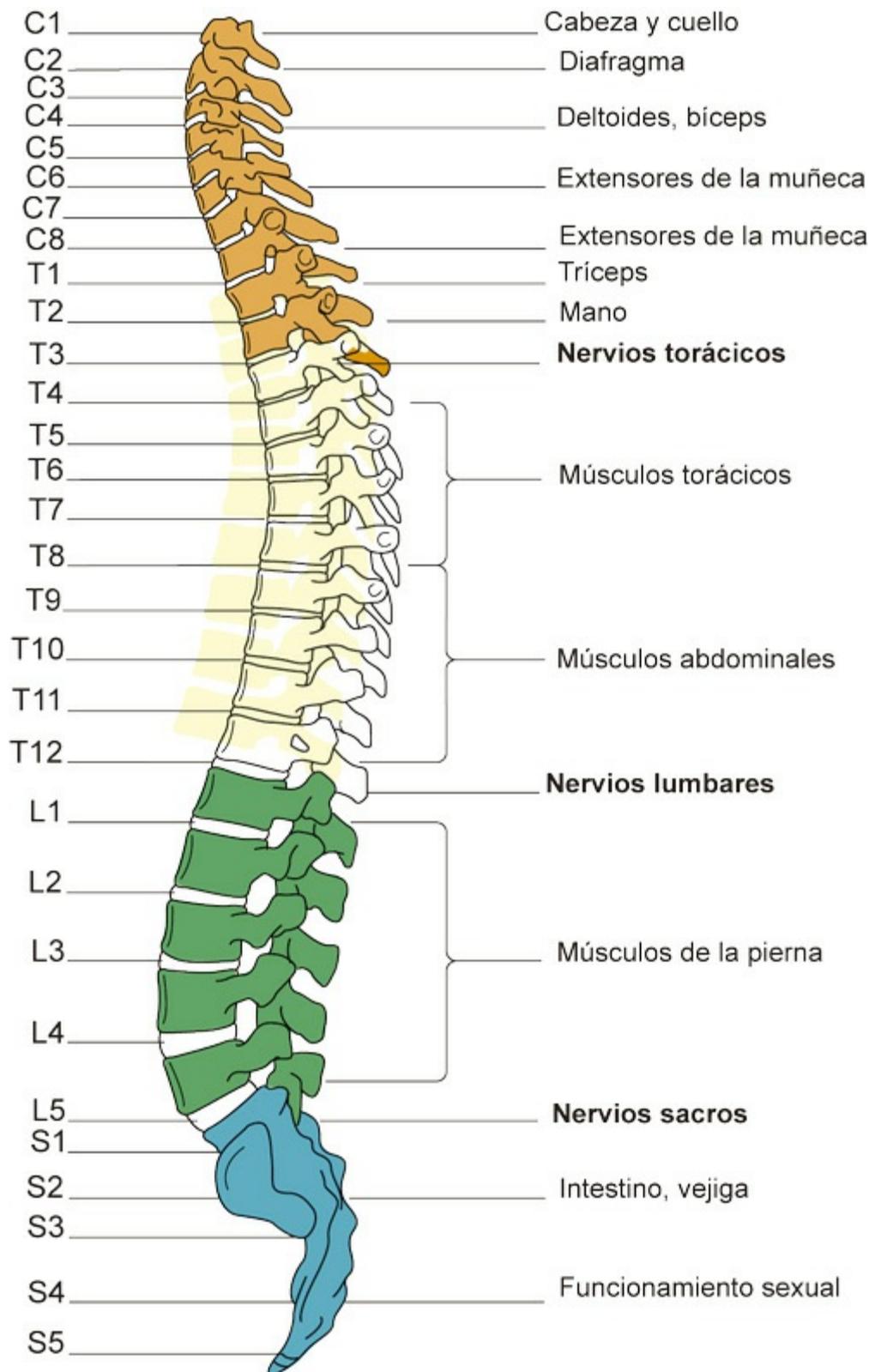


Figura 13-13. Nervios raquídeos y sus zonas de inervación.

Los nervios raquídeos constituyen las vías de comunicación entre la médula espinal y regiones específicas del cuerpo, ya que conectan el sistema nervioso central con receptores sensitivos, músculos y glándulas en todas las partes del cuerpo. Un nervio raquídeo típico (figura 13-14) tiene dos conexiones con la médula espinal: una raíz posterior y una raíz anterior, que se unen para formar

un nervio raquídeo en el **agujero intervertebral**. Un nervio raquídeo es un ejemplo de nervio mixto, ya que contiene tanto nervios sensitivos (raíz posterior) como nervios motores (raíz anterior).

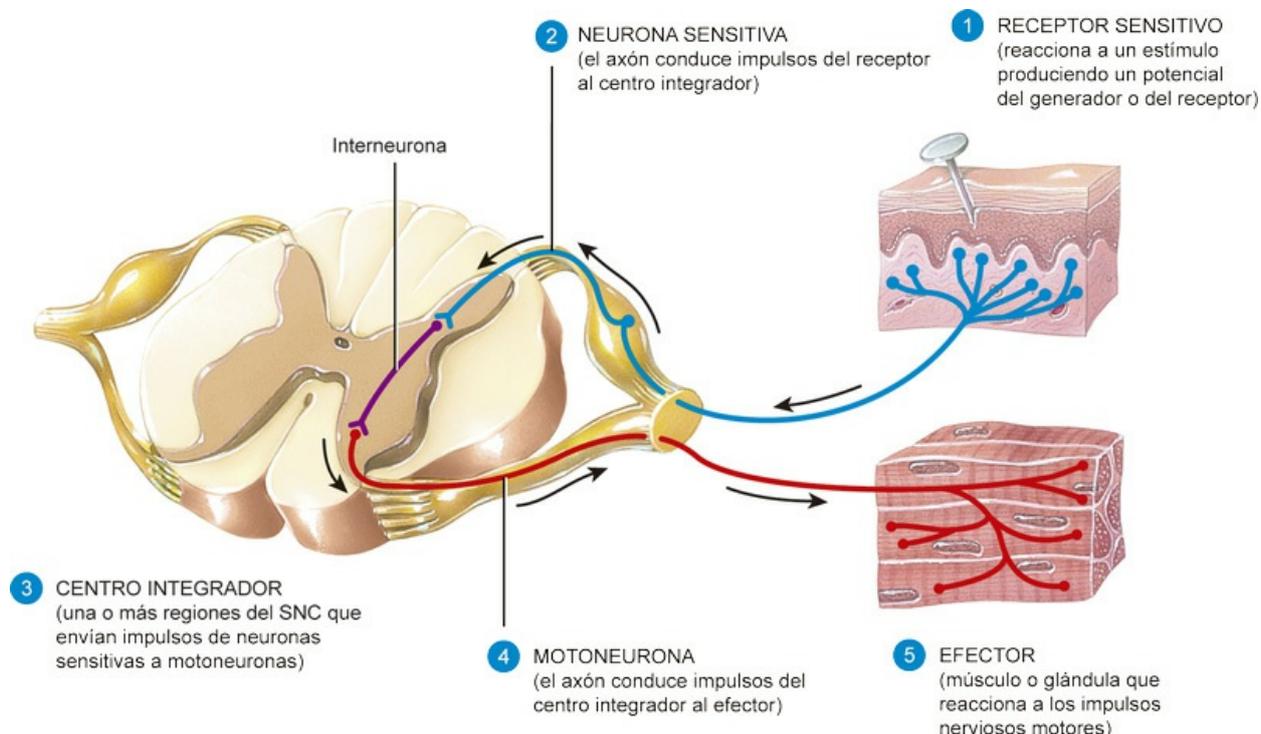


Figura 13-14. Un nervio raquídeo típico (SNC: sistema nervioso central).
Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Consideraciones clínicas

Compresión aguda de la médula espinal

La compresión aguda de la médula espinal es una urgencia neurológica que requiere diagnóstico y tratamiento expeditos para evitar la pérdida permanente de su funcionamiento. Entre sus causas comunes se incluyen:

- Traumatismo (accidentes vehiculares, lesiones deportivas, caídas).
- Tumores, tanto benignos como malignos.
- Prolapso de disco intervertebral (L4–L5 y L5–S1 son los niveles más frecuentes de prolapso discal).
- Hemorragia epidural o subdural.
- Enfermedad inflamatoria (p. ej. artritis reumatoide).
- Infección.

Entre los signos y síntomas están la pérdida sensorial, parestesia, trastornos de la marcha, pérdida de fuerza o parálisis.

Manejo de medicamentos

Paracetamol

El paracetamol (acetaminofén) es un fármaco de venta libre común que se usa para tratar el dolor leve a moderado, y también es eficaz contra la fiebre. Se desconoce su mecanismo de acción exacto; sin embargo, se piensa que en el mecanismo analgésico intervienen los metabolitos, que actúan en receptores situados en la médula espinal y suprimen la transducción de señales desde las capas superficiales del asta dorsal para aliviar el dolor (Toussaint *et al.*, 2010).

En cuanto a sus propiedades antipiréticas, se ha propuesto que su principal mecanismo de acción es la inhibición de la enzima ciclooxigenasa (COX), y descubrimientos recientes sugieren que es muy selectivo para COX-2. La familia de enzimas COX es responsable del metabolismo de compuestos que favorecen la reacción inflamatoria. Se piensa que el paracetamol reduce la forma oxidada de la enzima COX, con lo que impide que forme sustancias proinflamatorias. Esto da como resultado una menor cantidad de prostaglandinas S, lo cual reduce el valor preprogramado hipotalámico en el centro termorregulador.

El paracetamol se prescribe para tratar muchas afecciones, como la cefalea, dolor muscular, artritis, dorsalgia, dolor dental, resfriado y fiebre.

La sobredosis de paracetamol es en especial peligrosa, ya que puede causar daño hepático, el cual puede no ser evidente sino hasta 4 a 6 días después de la ingestión. El tratamiento incluye infusión de acetilcisteína, que protege el hígado. Sin embargo, es más eficaz si se administra en las primeras 8 h tras la ingestión, tras lo cual su eficacia declina.

Consideraciones clínicas

Crisis de pánico

Una crisis de pánico es un acceso de síntomas psicológicos y físicos intensos. Estos síntomas pueden ser atemorizantes y ocurrir de improviso, a menudo sin un motivo claro.

Las crisis de pánico suelen durar entre 5 y 20 min, y la persona puede experimentar síntomas psicológicos y físicos desagradables; sin embargo, por lo común duran poco y no causan daño (NHS Choices, 2015). Entre los síntomas psicológicos están la sensación abrumadora de temor y sensación de irrealidad, como si la persona se desprendiera del mundo que lo rodea. Son posibles síntomas físicos de pánico la sudación, temblor, disnea, sensación de ahogamiento, dolor torácico, náusea y palpitaciones.

Los síntomas físicos de una crisis de pánico son causados por la respuesta simpática a algo que el individuo percibe como una amenaza y que causa la liberación de hormonas, como la adrenalina, con el resultado de un aumento de la frecuencia cardíaca y tensión muscular.

Es posible ayudar a quienes sufren crisis de pánico enseñándoles técnicas de respiración y relajación, e indicándoles que eviten sustancias como la cafeína, nicotina y alcohol (NHS Choices, 2015).

Sistema nervioso autónomo

El sistema nervioso autónomo tiene una función importante en el mantenimiento de la homeostasis al regular las funciones automáticas e involuntarias del organismo. Como el resto del sistema nervioso, consiste en **neuronas**, **neuroglia** y otros tipos de tejido conjuntivo. Sin embargo, su estructura es única, en el sentido de que se divide en dos, a saber, la **división simpática** y la **división parasimpática**. Estas dos divisiones tienen varias características en común (Logenbaker, 2013):

- Inervan todos los órganos internos.
- Utilizan dos neuronas motoras y un ganglio para transmitir un potencial de acción.
- Actúan de manera automática y por lo común involuntaria.

División simpática (lucha o huída)

La división simpática (figura 13-15) incluye fibras nerviosas que surgen de los 12 segmentos dorsales (torácicos) y los dos primeros lumbares de la columna; de aquí que también se le llame **división toracolumbar**. La división simpática toma el control de muchos órganos internos cuando se presenta una situación estresante. Esto puede asumir la forma de estrés físico si se emprende actividad física extenuante o se experimenta estrés emocional en momentos de ira o ansiedad. En situaciones de urgencia, el sistema nervioso simpático libera **noradrenalina**, que ayuda en la respuesta de “lucha o huída” (Migliozzi, 2013).

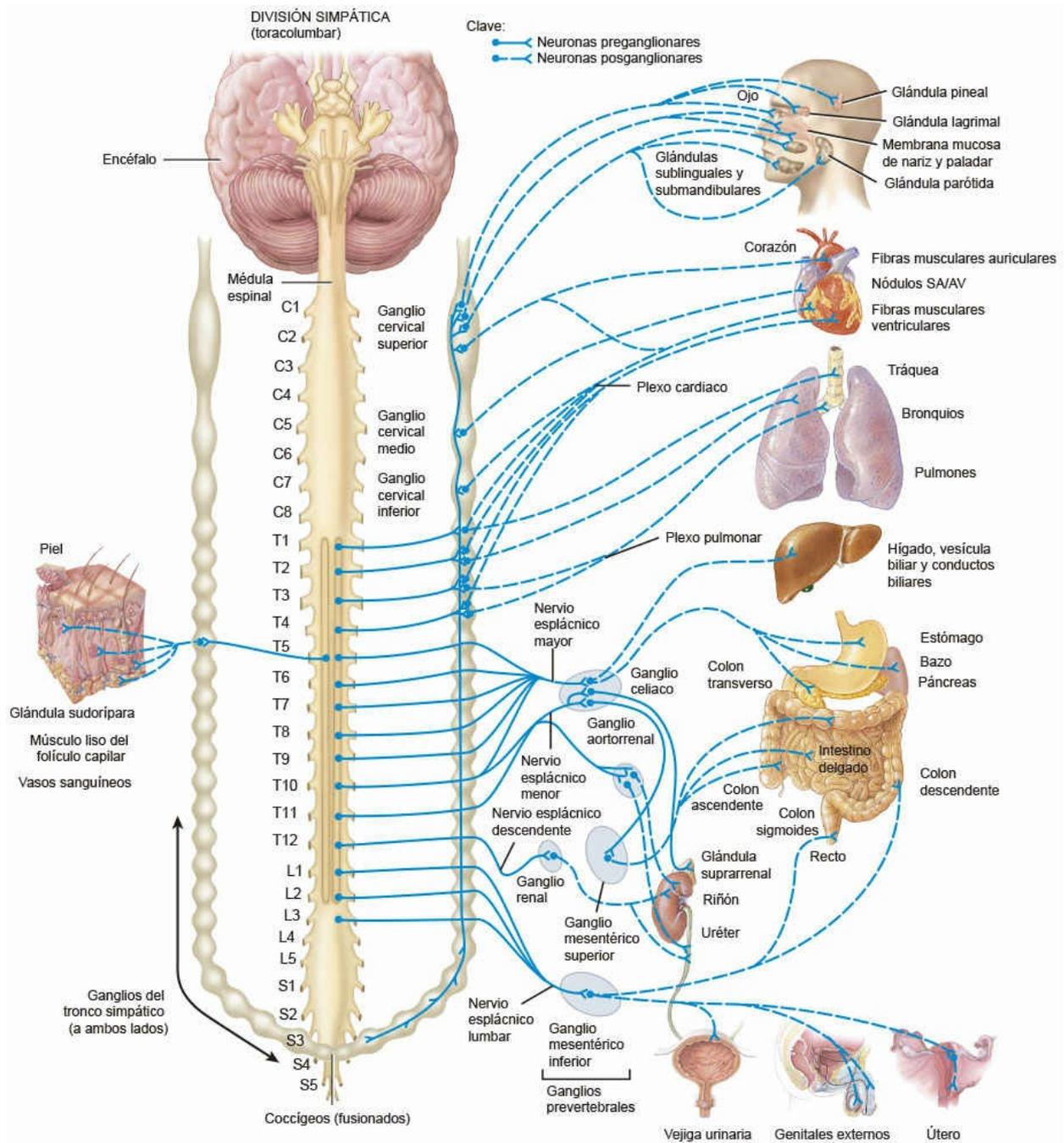


Figura 13-15. Sistema nervioso simpático. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

División parasimpática (reposo y digestión)

La división parasimpática incluye fibras que se originan en el extremo inferior de la médula espinal y varios pares craneales, por lo que a menudo se le llama **división craneosacra**. Es más activa cuando el cuerpo está en reposo; utiliza **acetilcolina** para controlar todas las respuestas internas relacionadas con un estado de relajación (figura 13-16) y, por lo tanto, tiene muchos efectos corporales opuestos a los del sistema nervioso simpático (Migliozzi, 2013).

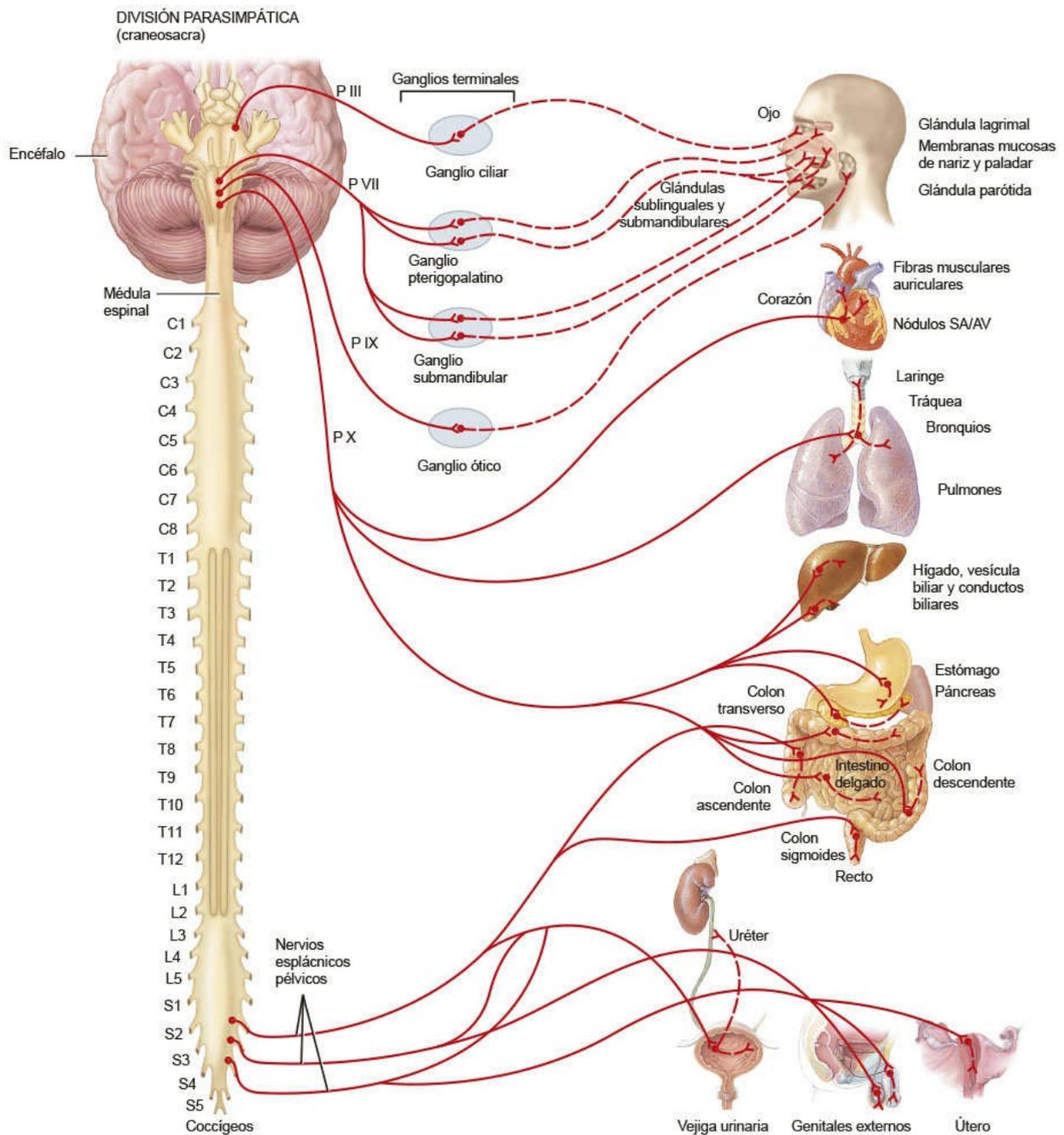


Figura 13-16. Sistema nervioso parasimpático. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

En el cuadro 13-2 se presenta un resumen de los efectos fisiológicos de las divisiones simpática y parasimpática del sistema nervioso.

Cuadro 13-2. Efectos de las divisiones parasimpática y simpática del sistema nervioso autónomo

| Órgano/aparato o sistema | Efectos simpáticos | Efectos parasimpáticos |
|--------------------------|---|------------------------|
| Metabolismo celular | Aumenta la tasa metabólica, estimula la degradación de la grasa y aumenta | Sin efecto |

| | | |
|-----------------------|---|---|
| | la glucemia | |
| Vasos sanguíneos | Constríñe los vasos sanguíneos en vísceras y piel Dilata los vasos sanguíneos en el corazón y el músculo esquelético | Sin efecto |
| Ojo | Dilata las pupilas | Constríñe las pupilas |
| Corazón | Aumenta la frecuencia y fuerza de la contracción | Reduce la frecuencia |
| Pulmones | Dilata los bronquiólos | Constríñe los bronquiólos |
| Riñones | Reduce la diuresis | Sin efecto |
| Hígado | Causa la liberación de glucosa | Sin efecto |
| Aparato digestivo | Reduce el peristaltismo y constríñe los esfínteres del aparato digestivo | Incrementa el peristaltismo y dilata los esfínteres del aparato digestivo |
| Médula suprarrenal | Estimula las células para que secreten adrenalina y noradrenalina | Sin efecto |
| Glándulas lagrimales | Inhibe la producción de lágrimas | Incrementa la producción de lágrimas |
| Glándulas salivales | Inhibe la producción de saliva | Incrementa la producción de saliva |
| Glándulas sudoríparas | Estimula la producción de sudor | Sin efecto |

Manejo de medicamentos

Carbamacepina

La carbamacepina es un anticonvulsivo que se prescribe sobre todo para el tratamiento de las convulsiones epilépticas. Actúa bloqueando los canales de sodio de las células nerviosas en el encéfalo, de modo que reduce los niveles elevados de excitabilidad y actividad de disparo de las neuronas durante una convulsión epiléptica.

El síndrome de hipersensibilidad a antiepilépticos se ha vinculado con algunos medicamentos contra la epilepsia, y suele comenzar entre 1 y 8 semanas después de iniciar el tratamiento; entre los signos y síntomas están la fiebre, exantema, linfadenopatía, y disfunción hepática y hematológica. Si ocurren síntomas de síndrome de hipersensibilidad, debe suspenderse el fármaco de inmediato (Joint Formulary Committee, 2014).

Los pacientes con epilepsia pueden conducir autos pero no vehículos más grandes (p. ej. autobuses de pasajeros: *Guidance from the Driver and Vehicle Licensing Agency*). Sin embargo, se recomienda a los pacientes no conducir cuando cambien de medicamento o suspendan el antiepiléptico, y hasta seis meses después. De modo similar, los pacientes que han tenido la primera convulsión epiléptica o una aislada no deben conducir durante seis meses (Joint Formulary Committee, 2014).

Conclusión

En conclusión, el sistema nervioso humano es una red altamente organizada de células y estructuras que incluye al encéfalo, pares craneales, médula espinal y nervios raquídeos, y tiene una función importante en el mantenimiento de la homeostasis. El sistema nervioso reacciona a estímulos externos e internos a través de tres funciones básicas: sensitivas, integrativas y motoras, que generan respuestas e inducen cambios en las actividades corporales, según se requiera. Los trastornos que afectan al sistema nervioso pueden tener un efecto devastador en la calidad de vida y las funciones esenciales para la supervivencia.

Glosario

Adrenalina. Hormona producida por la médula suprarrenal que también es un neurotransmisor.

Aracnoides. Capa intermedia de las meninges.

Área motora. Zona de la corteza cerebral que controla la actividad motora voluntaria.

Área sensitiva. Zona del cerebro responsable de la sensación.

Astrocito. Célula de la neuroglia que contribuye a la barrera hematoencefálica.

Axón. Extensión de una neurona que lleva impulsos desde el cuerpo celular.

Bulbo raquídeo. Parte del tallo encefálico.

Catión. Ion con carga positiva.

Células endoteliales. Células de la neuroglia que recubren las cavidades del sistema nervioso central.

Cerebelo. Región anatómica del encéfalo responsable de que los movimientos de los músculos esqueléticos sean coordinados y suaves.

Cerebro. Región anatómica grande del encéfalo que se divide en los hemisferios cerebrales.

Círculo de Willis. Parte del sistema de suministro de sangre arterial al encéfalo.

Conducción saltatoria. Transmisión de un impulso por una fibra nerviosa mielinizada en la cual el impulso pasa de un nódulo de Ranvier a otro.

Dendrita. Parte de una neurona que transmite impulsos hacia el soma.

Diencéfalo. Región anatómica del encéfalo que consiste en tálamo, hipotálamo y epítalamo.

Duramadre. Capa externa resistente de las meninges.

Efactor. Músculo, glándula u órgano estimulados por el sistema nervioso.

Epítalamo. Parte del encéfalo que forma el diencéfalo.

Fibras aferentes. Llevan impulsos nerviosos hacia el sistema nervioso central.

Fibras eferentes. Llevan impulsos nerviosos desde el sistema nervioso central.

Formación reticular. Zona localizada en todo el tallo encefálico que es responsable de la excitación, regulación de la aferencia sensitiva al cerebro y control de la eferencia motora.

Ganglio. Grupo de somas ubicadas fuera del sistema nervioso central.

Glándula pineal. Parte del diencéfalo que tiene una función endocrina.

Hemisferios cerebrales. División del cerebro.

Hipófisis. Glándula endocrina localizada junto al hipotálamo que produce muchas hormonas.

Hipotálamo. Parte del diencéfalo que realiza muchas funciones.

Líquido cefalorraquídeo. Líquido que rodea el sistema nervioso central.

Lóbulo División anatómica o frontera evidentes dentro de una estructura.

Materia blanca. Fibras nerviosas mielinizadas.

Meninges. Tres capas de tejido que cubren y protegen al sistema nervioso central (duramadre, aracnoides y piamadre).

Mesencéfalo. Parte del tallo encefálico que conecta éste con el diencéfalo.

Microglia. Células de la neuroglia con la capacidad de fagocitar material.

Nervios motores. Neuronas que conducen impulsos hacia efectores, que pueden ser músculos o glándulas.

Nervios raquídeos. Treinta y un pares de nervios que se originan en la médula espinal.

Nervios sensitivos. Neuronas que llevan información sensitiva de pares craneales y nervios raquídeos al encéfalo y a la médula espinal.

Neuroglia. Parte del sistema nervioso que protege y soporta la unidad funcional, las neuronas.

Neurona. Unidad funcional del sistema nervioso responsable de generar y conducir impulsos nerviosos.

Núcleo. Grupo de somas en el sistema nervioso central.

Oligodendrocitos. Células gliales que ayudan a producir la vaina de mielina.

Pares craneales. Doce pares de nervios que salen del encéfalo y envían neuronas sensitivas y motoras a la cabeza, cuello, parte del tronco y las vísceras de tórax y abdomen.

Periodo refractario. Periodo inmediatamente posterior a que una neurona ha disparado, en el que no puede recibir otro impulso.

Piamadre. Capa más interna de las meninges.

Potencial de acción. Conducción a lo largo de la membrana celular nerviosa o muscular causada por una despolarización transitoria larga.

Receptor. Terminación nerviosa sensitiva o célula que reacciona a estímulos.

Sinapsis Unión entre dos neuronas o entre neuronas y sitio efector.

Sistema límbico. Parte del encéfalo que participa en las respuestas emocionales.

Sistema nervioso autónomo. División motora involuntaria del sistema nervioso motor.

Sistema nervioso central. Encéfalo y médula espinal.

Sistema nervioso periférico. Todos los nervios localizados fuera del encéfalo y la médula espinal (el sistema nervioso central).

Sistema nervioso somático. División motora voluntaria del sistema nervioso periférico.

Tálamo. Parte del diencefalo.

Tallo encefálico. Estructura formada por el puente de Varolio, bulbo raquídeo y mesencefalo.

Unión neuromuscular. Región donde el músculo esquelético entra en contacto con una neurona.

Vaina de mielina. Capa aislante adiposa que rodea fibras nerviosas; acelera la conducción de impulsos.

Vasopresina (ADH). Hormona que actúa en los riñones para reabsorber más agua, con lo que reduce la diuresis.

Ventrículo. Cavidad en el encéfalo.

Bibliografía

- Galbraith, A., Bullock, S., Manias, E., Hunt, B. and Richards, A. (2007) *Fundamentals of Pharmacology. An Applied Approach for Nursing and Health*, 2nd edn. Harlow: Pearson Education.
- Joint Formulary Committee (2014) *BNF 68*. London: Pharmaceutical Press.
- Logenbaker, S.N. (2013) *Mader's Understanding Human Anatomy and Physiology*, 8th edn. London: McGraw-Hill.
- Marieb, E.N. and Hoehn, K. (2013) *Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Migliozzi, J.G. (2013) The nervous system and associated disorders. In Nair, M. and Peate, I. (eds) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide For Nursing And Healthcare Students*, 2nd edn. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- NHS Choices (2015) *Stress, Anxiety and Depression*. <http://www.nhs.uk/Conditions/stress-anxiety-depression/Pages/low-mood-stress-anxiety.aspx> (accessed 1 December 2015).
- Seeley, R.R., Stephens T.D. and Vanputte, C. (2013) *Anatomy and Physiology*, 10th edn. New York: McGraw-Hill.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, T. (2014) *Principles of Anatomy and Physiology*, 14th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B. (2012) *Essentials of Anatomy and Physiology*, 9th edn. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Toussaint, K., Yang, X.C., Zielinski, M.A., Reigle, K.L., Sacavage, S.D., Nagar, S. and Raffa, R.B. (2010) What do we (not) know about how paracetamol (acetaminophen) works? *Journal of Clinical Pharmacy and Therapeutics* **35**(6): 617–638.
- VanMeter, K.C. and Hubert, R.J. (2014). *Gould's Pathophysiology for Health Professions*, 5th edn. St Louis: Elsevier Saunders.
- Waugh, A. and Grant, A. (2014) *Ross and Wilson Anatomy and Physiology in Health and Illness*, 12th edn. Edinburgh: Elsevier Churchill Livingstone.

Lecturas adicionales

<http://www.nice.org.uk/guidance/cg176>

Vínculo con guías clínicas sobre lesión encefálica: clasificación de pacientes, valoración, investigación y manejo inicial en niños, jóvenes y adultos.

<http://www.nice.org.uk/guidance/cg137>

Vínculo con guías clínicas sobre los distintos tipos de epilepsia. Tipos, diagnóstico y manejo de epilepsia en adultos y niños en atención primaria y secundaria.

<http://www.stroke.org.uk/>

La Stroke Association es un organismo británico sin fines de lucro que ayuda a los afectados por accidente cerebrovascular y sus familias.

<http://www.parkinsons.org.uk/>

Parkinson's UK es un organismo británico de beneficencia que apoya a personas afectadas por enfermedad de Parkinson y patrocina la investigación de este trastorno.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Qué parte del encéfalo es responsable de pensamiento, razonamiento e inteligencia?
 - (a) Cerebelo.
 - (b) Hipotálamo.
 - (c) Cerebro.
 - (d) Epitálamo.
2. ¿Cuáles estructuras intervienen en el control de la respiración?
 - (a) Puente de Varolio y bulbo raquídeo.
 - (b) Tálamo y epitálamo.
 - (c) Sistema nervioso somático y sensitivo.
 - (d) Cerebelo y cerebro.
3. ¿Cuál célula de la neuroglia actúa como macrófago?
 - (a) Oligodendrocito.
 - (b) Astrocito.
 - (c) Microglia.
 - (d) Célula de Schwann.
4. ¿Cuál capa de las meninges está más cerca del cráneo?
 - (a) Duramadre.
 - (b) Aracnoides.
 - (c) Piamadre.
 - (d) Espacio subaracnoideo.
5. ¿Cuál neurotransmisor se relaciona con la unión neuromuscular?
 - (a) Dopamina.
 - (b) Noradrenalina.
 - (c) Acetilcolina.
 - (d) LCR.
6. ¿Cuál parte del encéfalo se relaciona estrechamente con la hipófisis?
 - (a) Tálamo.
 - (b) Epitálamo.
 - (c) Hipotálamo.
 - (d) Puente de Varolio.
7. ¿Cuál de los siguientes enunciados sobre el sistema nervioso autónomo es verdadero?
 - (a) Tiene dos divisiones: somática y voluntaria.
 - (b) Se aloja en el cerebro.
 - (c) Ayuda a regular la frecuencia cardíaca y la presión arterial.
 - (d) No influye en ningún otro aparato o sistema del organismo.
8. Los nervios que llevan impulsos hacia el sistema nervioso central son:
 - (a) Aferentes.
 - (b) Eferentes.
 - (c) Motores.
 - (d) Mixtos.

9. La estimulación simpática del sistema nervioso causaría todas las siguientes respuestas, menos:
- (a) Dilatación de los bronquiolos.
 - (b) Aumento de la diuresis.
 - (c) Aumento de la frecuencia cardíaca.
 - (d) Liberación de adrenalina.
10. Los nervios que llevan impulsos desde el sistema nervioso central son:
- (a) Aferentes.
 - (b) Eferentes.
 - (c) Motores.
 - (d) Mixtos.

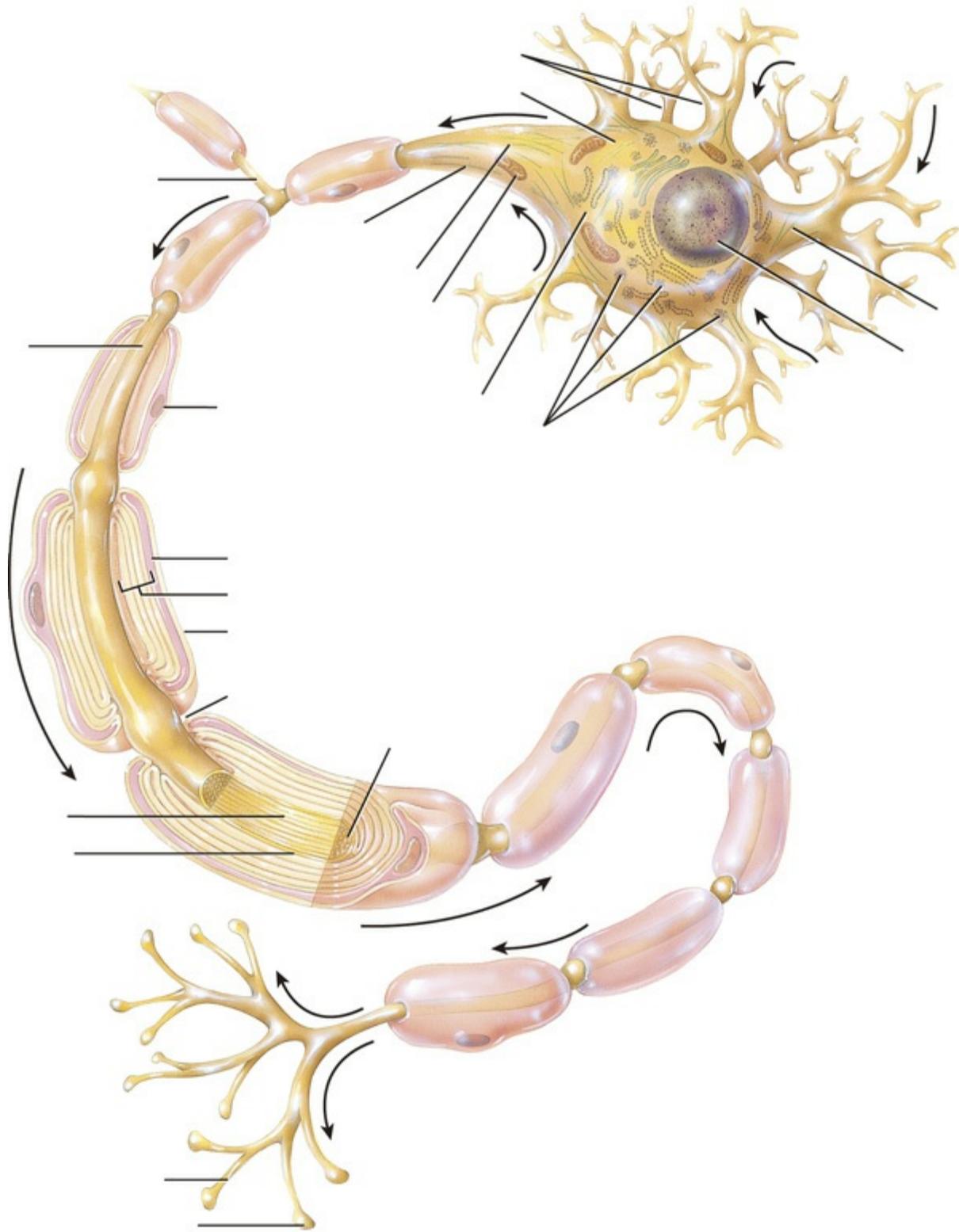
Falso o verdadero

- 1. El hipotálamo produce oxitocina.
- 2. El movimiento muscular voluntario es controlado por el sistema nervioso aferente.
- 3. Las células endoteliales ayudan a la circulación del LCR.
- 4. Todos los pares craneales son nervios motores.
- 5. Hay ocho nervios torácicos.
- 6. El sodio es el principal catión extracelular.
- 7. Los nervios motores llevan impulsos nerviosos desde el sistema nervioso central.
- 8. Los oligodendrocitos forman la barrera hematoencefálica.
- 9. El espacio subdural se encuentra entre la duramadre y la piamadre.
- 10. El área del campo ocular frontal controla el movimiento voluntario de los ojos.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Colateral axónico, AXÓN, Axón, Axoplasma, Axolema, Terminal axónica, Bulbo terminal sináptico, Núcleo de la célula de Schwann, Célula de Schwann, Citoplasma, Vaina de mielina, Neurolema, Nódulo de Ranvier, Neurofibrilla, Segmento inicial, Prominencia axónica, Mitocondria, Citoplasma, Cuerpos de Nissl, DENDRITAS, SOMA, Neurofibrilla, Núcleo, Dendrita, Célula neuroglial, Soma, Axón

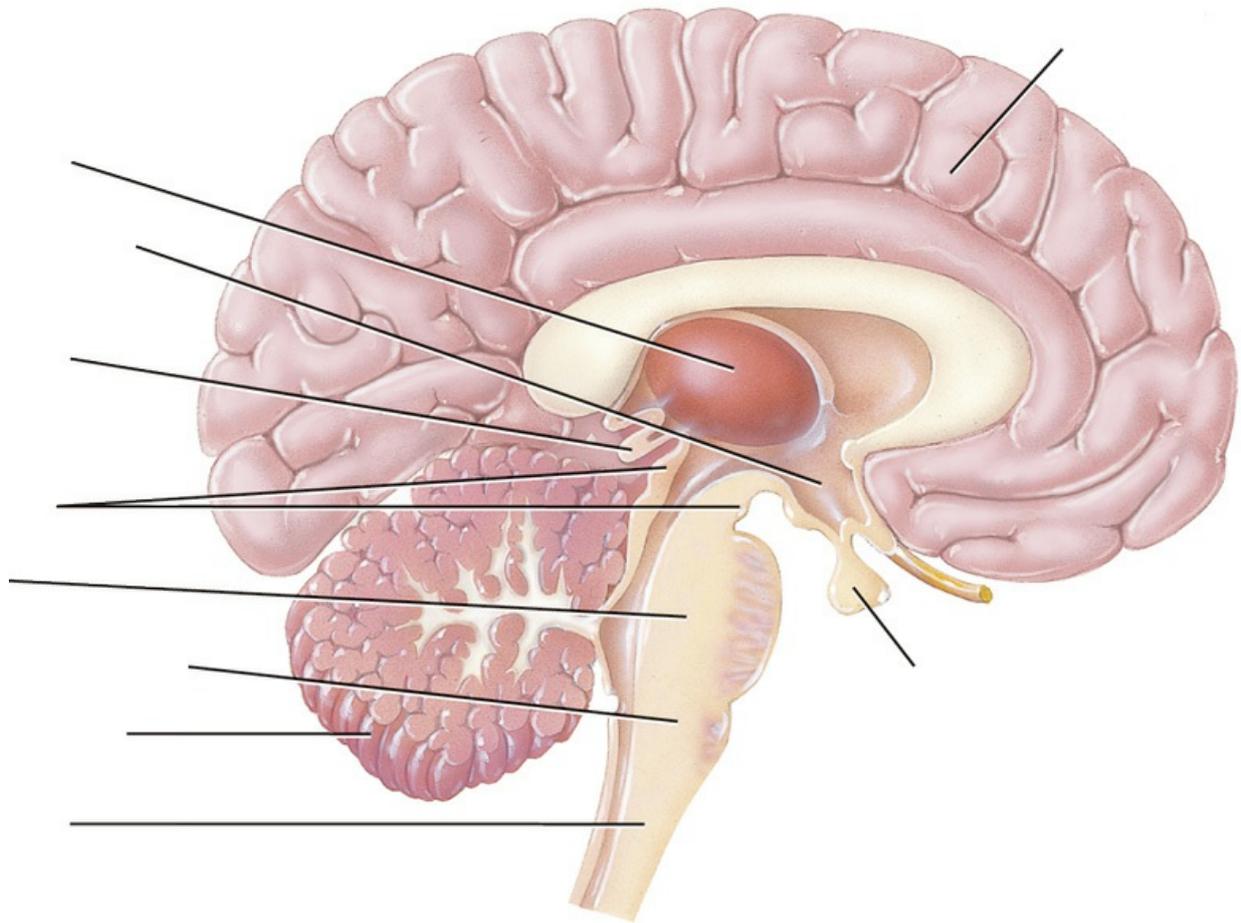


Rotule el diagrama 2

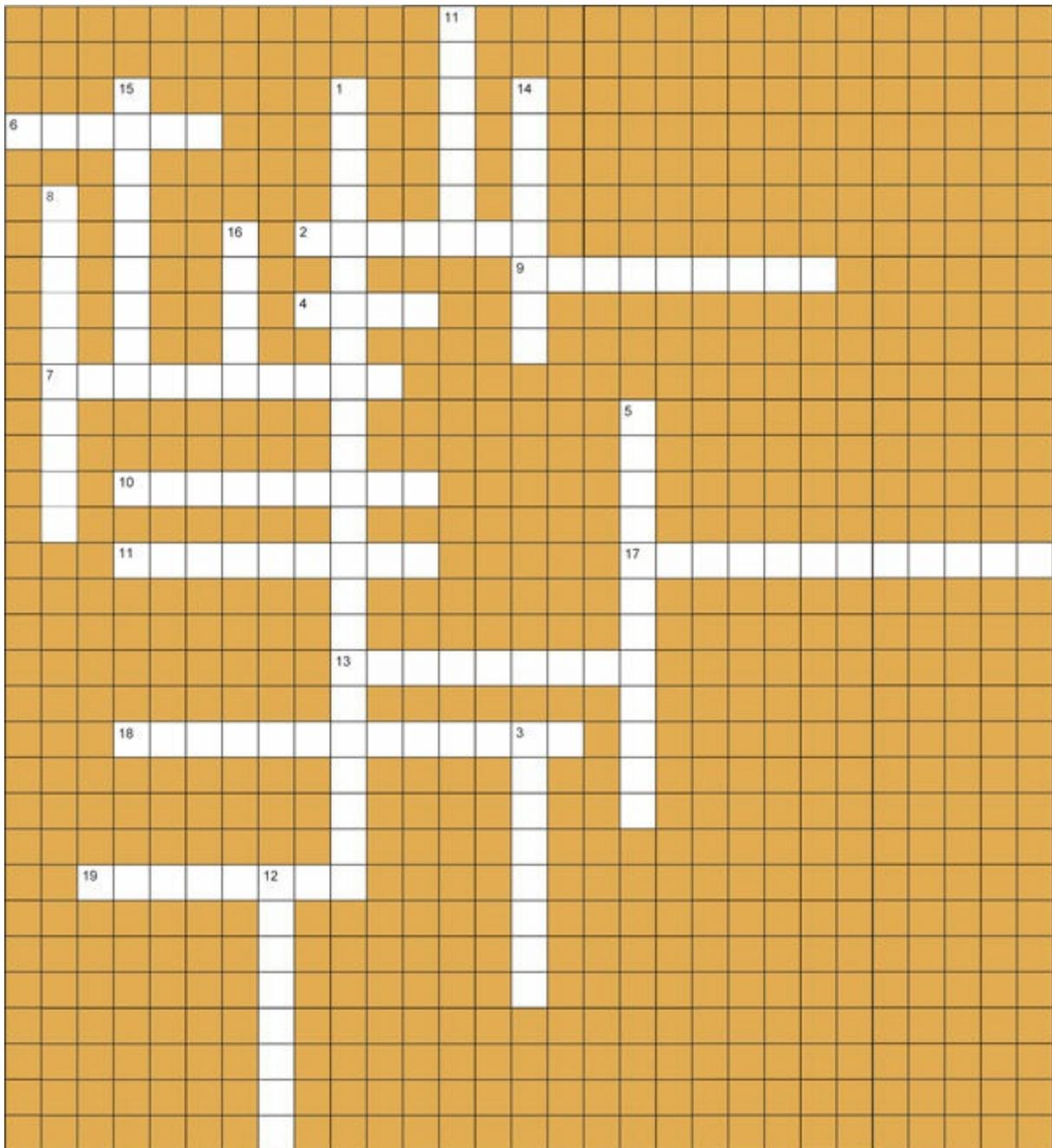
Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

DIENCÉFALO, Tálamo, Hipotálamo, Glándula pineal (parte del epítalamo), TALLO ENCEFÁLICO, Mesencéfalo, Puente de Varolio, Bulbo raquídeo, CEREBELO, Médula espinal, POSTERIOR, CEREBRO, Hipófisis,

ANTERIOR



Crucigrama



Horizontales:

- 2. Célula del sistema nervioso (7).
- 4. Par craneal X (4).
- 6. Par craneal II (6).
- 7. Capa intermedia de las meninges (10).
- 9. Capa externa de las meninges, más cercana al cráneo (9).
- 10. Célula de la microglia en forma de estrella (9).
- 11. Estructura del sistema endocrino que se localiza cerca del hipotálamo (9).
- 13. Par craneal I (9).
- 17. Describe el control del sistema nervioso autónomo (12).
- 18. Parte del encéfalo que participa en la frecuencia respiratoria y cardiaca (5, 8).
- 19. Una mitad del sistema nervioso central (8).

Verticales:

1. Parte voluntaria del sistema nervioso periférico (7, 8, 8).
3. Nervio que lleva el impulso desde el sistema nervioso central (8).
5. Neurotransmisor de la unión neuromuscular (12).
8. Estructura del encéfalo responsable del sistema nervioso autónomo (10).
11. Principal catión intracelular implicado en el potencial de acción (7).
12. Nervio que lleva el impulso hacia el sistema nervioso central (8).
14. Capa de las meninges que está en contacto con el encéfalo (8).
15. Estructura que contiene células fagocíticas del sistema nervioso (9).
16. Principal catión extracelular implicado en el potencial de acción (5).

Para profundizar

1. Nombre las dos divisiones principales del sistema nervioso.
2. Distinga entre el sistema nervioso parasimpático y el simpático.
3. Identifique las funciones de la neuroglia.
4. Describa el potencial de acción.
5. Identifique las funciones de las diferentes regiones del encéfalo.
6. Describa a un familiar del paciente lo que significa el acrónimo VEST (o FAST, en inglés) en el contexto de un accidente cerebrovascular.
7. Explique la diferencia entre accidente cerebrovascular y accidente isquémico transitorio.
8. Defina el término conducción saltatoria.
9. ¿Cuál es la diferencia entre los términos aferente y eferente?
10. ¿Cuál es la función del tallo encefálico?

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con el sistema nervioso. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Esclerosis múltiple

Botulismo

Fibromialgia

Enfermedad de Parkinson

Epilepsia

Hipertensión intracraneal

Enfermedad de Alzheimer





Capítulo 14

Los sentidos

Carl Clare

Ponga a prueba sus conocimientos previos

- ¿Cuál par craneal se encarga de llevar información sobre olores percibidos al encéfalo?
- Nombre las principales partes del oído implicadas en el sentido del equilibrio
- ¿Cuál parte de la lengua participa en el sentido del gusto?
- Nombre las dos sustancias que llenan las cámaras oculares y ayudan a mantener la forma del ojo
- ¿Cuál es el nombre técnico de la cortedad de vista?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir el proceso por el cual se perciben los olores
- Explicar los mecanismos encargados de la percepción de diferentes sabores
- Describir el modo en que el ser humano mantiene el equilibrio
- Explorar los mecanismos por los que la información sónica se convierte en potenciales de acción para su envío al cerebro
- Describir la diferencia entre bastoncillos y conos del ojo
- Explicar cómo se enfoca una imagen en la retina

Introducción

Suele considerarse que los sentidos especiales son los cinco sentidos del olfato, gusto, oído, visión y tacto. Sin embargo, en fisiología el sentido del tacto se excluye de los sentidos especiales ya que se le considera un sentido somático. Así, por “los sentidos” se entienden los sentidos de:

- Olfato.
- Gusto.
- Oído.
- Vista.

También se incluye en la lista el sentido del

- Equilibrio.

En este capítulo se exploran estos cinco sentidos en tres secciones:

- Los sentidos “químicos” de olfato y gusto.
- Los sentidos relacionados con el oído: equilibrio y audición.
- El sentido de la vista.

En todas estas secciones se revisará la anatomía de los órganos específicos implicados en esos sentidos, seguida por una exposición de la fisiología del modo en que esos sentidos se supervisan y crean potenciales de acción que serán transmitidos al encéfalo. Finalmente, se revisarán las vías que estos potenciales de acción siguen hasta el encéfalo, y se analizará brevemente el procesamiento de esta información en el encéfalo mismo.

Sentidos químicos

Los sentidos químicos son el olfato y el gusto, que dependen de quimiorreceptores. Hay dos tipos principales de quimiorreceptores:

- Quimiorreceptores a distancia: por ejemplo, los receptores olfatorios (olfato).
- Quimiorreceptores directos: como los del sentido del gusto, las papilas gustativas.

Sentido del olfato (olfacción)

En términos evolutivos, el sentido del olfato es uno de los más antiguos. Es útil para identificar el alimento que es seguro de ingerir y diferenciarlo del que se ha descompuesto; ayuda a reconocer peligros, como las sustancias tóxicas, y proporciona placer al percibir el olor de flores y perfumes. La olfacción (la acción de oler) depende de receptores que reaccionan a partículas llevadas por el aire. En la cavidad nasal a cada lado del tabique nasal hay órganos olfativos pares formados por dos capas (figura 14-1):

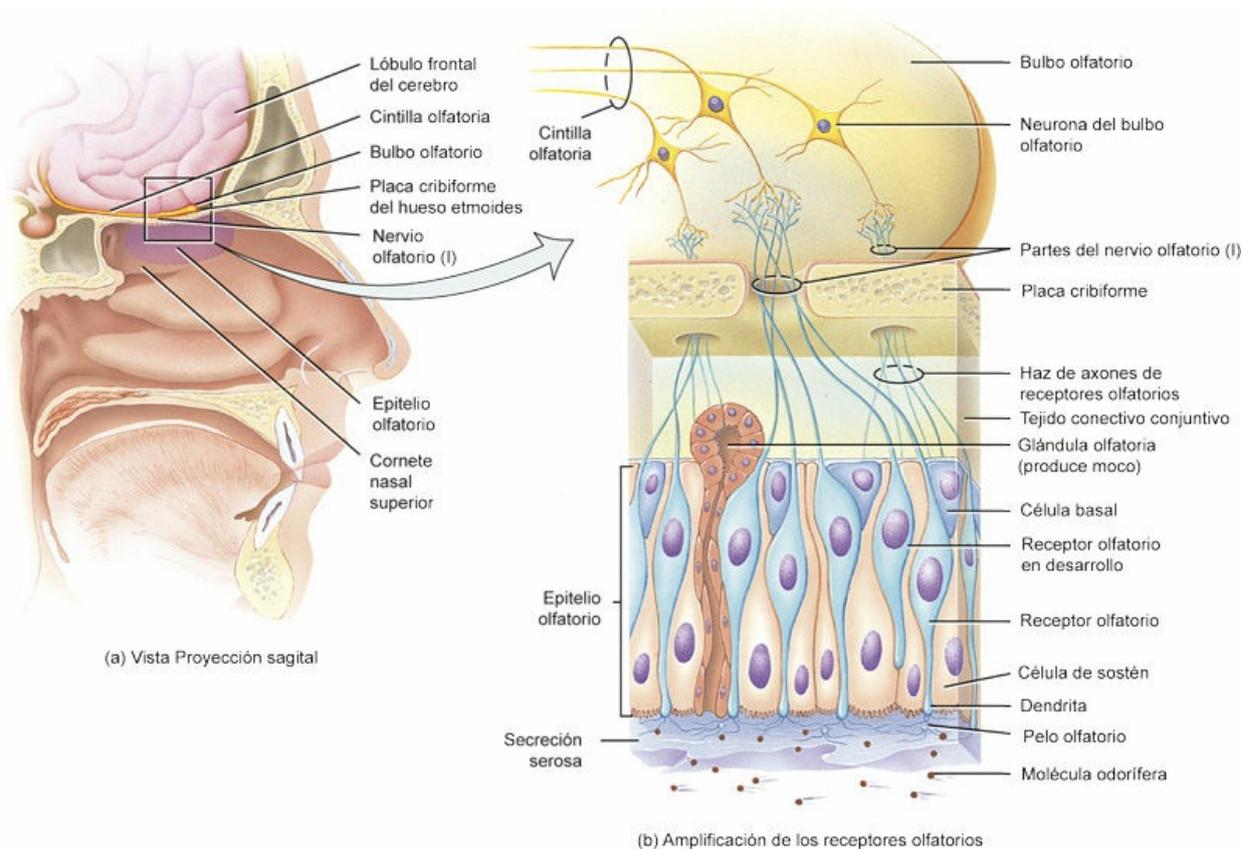


Figura 14-1. (a, b) Anatomía macroscópica y microscópica de la olfacción. Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- **Epitelio olfatorio:** esta capa contiene las células receptoras olfatorias, células de soporte y células basales regenerativas (células madre) que al madurar se

convierten en células receptoras para reponer las que mueren.

- **Lámina propia:** capa de tejido areolar que contiene numerosos vasos sanguíneos y nervios. Esta capa también contiene las glándulas olfatorias, que secretan una sustancia rica en lípidos que absorbe agua para formar un moco espeso que cubre el epitelio olfatorio.

La región olfatoria de cada una de las dos vías nasales tiene unos 2.5 cm² (Jenkins y Tortora, 2013) y entre ambas contienen alrededor de 50 millones de células receptoras.

Cuando se inhala aire por la nariz, el aire en la cavidad nasal se somete a un flujo turbulento, y esto asegura que las moléculas odoríferas transportadas por el aire sean llevadas a los órganos olfatorios. Alrededor del 2% del aire inhalado en una inspiración promedio pasa por los órganos olfatorios; el acto de “olisquear” incrementa mucho este porcentaje. Los receptores olfatorios sólo pueden ser estimulados por compuestos que sean solubles en agua o lípidos y por tanto que puedan difundirse a través del moco situado encima del epitelio olfatorio.

Receptores olfatorios

Los receptores olfatorios son neuronas muy modificadas contenidas en el epitelio olfatorio. La punta de cada receptor se proyecta más allá de la superficie del epitelio (figura 14-1). Esta proyección forma la base hasta de 20 cilios (estructuras en forma de pelo) que se extienden dentro del moco circundante. Estos cilios se disponen en forma lateral en el moco (casi horizontales en vez de verticales), con lo que exponen una mayor área superficial a cualquier compuesto disuelto en el moco.

Las sustancias disueltas interactúan con proteínas de unión a sustancias odoríferas en la superficie de los cilios; ocurre despolarización local por la apertura de canales de sodio en la membrana celular. Si ocurren las suficientes despolarizaciones locales, se genera un potencial de acción en la célula receptora.

Manejo de medicamentos

Propionato de fluticasona

El propionato de fluticasona es un glucocorticoide tópico que suele usarse para el tratamiento de la rinitis alérgica (inflamación del interior de la nariz) y de los pólipos nasales.

Está disponible como aerosol nasal y gotas nasales. El método de administración de estas presentaciones varía ligeramente y se detalla enseguida.

Técnica de aerosol nasal:

- Se suena la nariz para despejarla.
- Se agita el frasco.
- Se cierra una narina y se coloca la tobera en la narina abierta.

- Se inclina un poco la cabeza al frente y se mantiene el frasco vertical.
- Se oprime el frasco para llevar un rocío fino a la nariz mientras se aspira con lentitud. La aspiración no debe ser fuerte.
- Se exhala por la boca.
- Se administra un segundo rocío en la misma narina, y luego se repite todo el procedimiento para la otra narina si así se prescribe.

Técnica de aerosol nasal:

- Se suena la nariz para despejarla.
- Se agita el frasco.
- Se inclina la cabeza hacia atrás.
- Se instilan las gotas en la narina.
- Se mantiene la cabeza inclinada y se inhala suavemente para que las gotas penetren.
- Se repite en la otra narina si así se prescribe.

Entre los efectos adversos del propionato de fluticasona se incluyen sangrado nasal (muy común) y sequedad o irritación de la nariz o la garganta. Es posible minimizar estos efectos mediante:

- Prescripción de aerosol nasal en vez de gotas. Si las gotas nasales están indicadas o se prefieren, se asegura su uso correcto.
- Prescripción de la potencia más baja posible por el periodo más breve.

Véase *National Institute for Health and Care Excellence* (2015).

Vía olfatoria

El sistema olfatorio es muy sensible, y una cantidad de sustancia tan pequeña como cuatro moléculas puede inducir la activación de un receptor. Sin embargo, la activación de una célula receptora no significa que habrá conciencia del olor. Hay mucha convergencia a lo largo de la vía nerviosa olfatoria, y la inhibición en sinapsis intermedias puede impedir que la señal llegue a la corteza olfatoria en el encéfalo. No obstante, el umbral olfatorio sigue siendo muy bajo; por ejemplo, el ser humano puede detectar concentraciones muy bajas de las sustancias odoríferas que se agregan al gas doméstico, lo cual permite que los habitantes de la casa detecten cualquier fuga.

En cada lado de la nariz, axones que salen de las células receptoras en el epitelio olfatorio se reúnen en 20 o más haces que penetran la placa cribiforme del hueso etmoides (figura 14-2); estos haces comprenden los nervios olfatorios derecho e izquierdo hasta que llegan a los bulbos olfatorios en el encéfalo. En los bulbos olfatorios los axones convergen para conectarse con células postsinápticas (mitrales) en grandes estructuras sinápticas llamadas glomérulos. Fibras eferentes de células en otras partes del encéfalo también inervan el bulbo olfatorio, con lo que permiten la inhibición potencial de las vías de señalización, por ejemplo, en la adaptación central (recuadro 14-1).

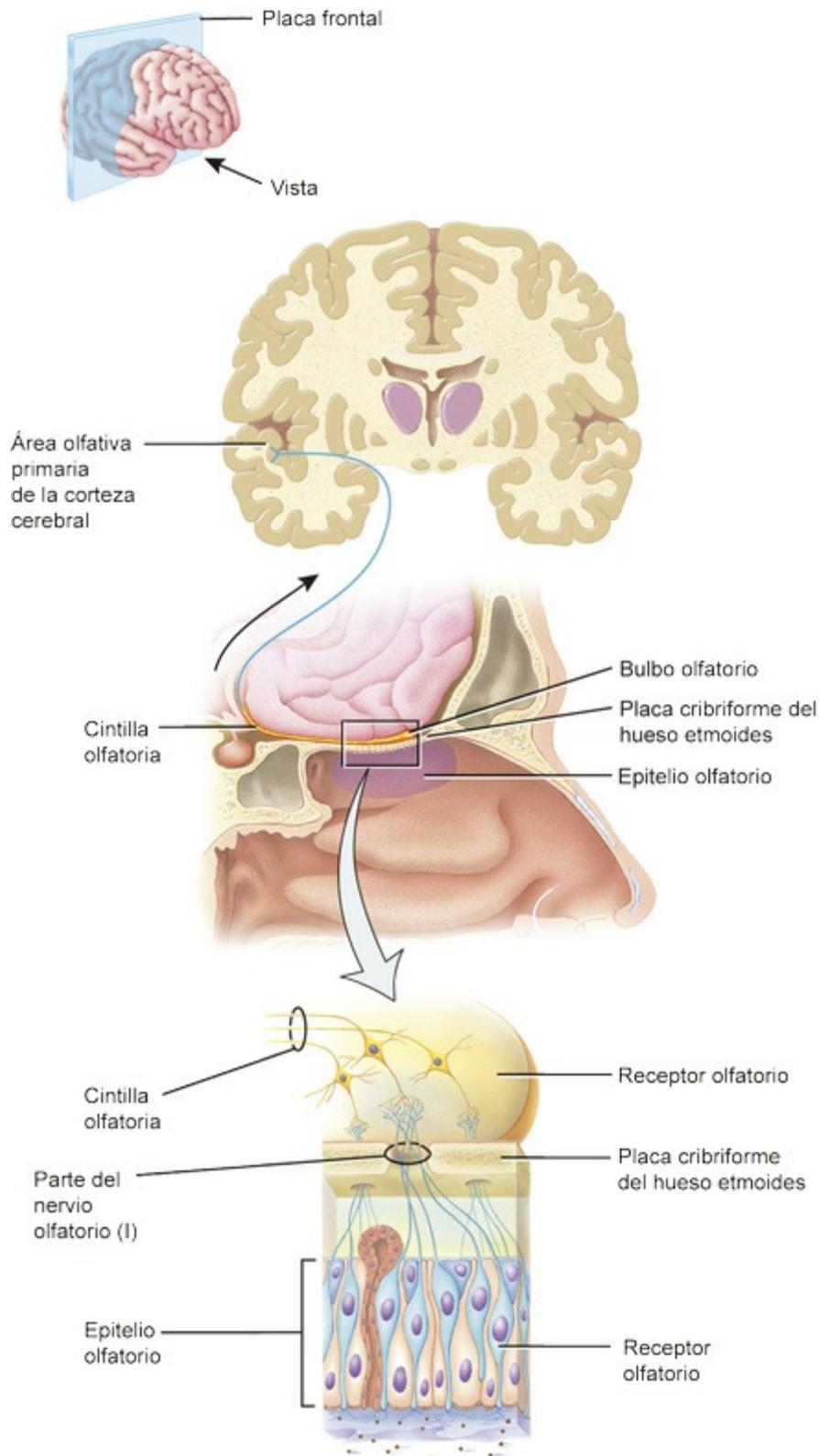


Figura 14-2. Vía olfatoria. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Recuadro 14-1. Adaptación central

Tal vez el lector ha notado que al encontrarse con alguien en algún momento del día huele su perfume o loción, pero luego de pasar un tiempo con esa persona deja de advertir ese

olor. El ser humano tiende a “habituarse” a olores persistentes, hasta el punto en que éstos dejan de percibirse. Ello no se debe a que los receptores locales se adapten a los estímulos persistentes, sino que depende de la adaptación central. Esto es, centros superiores en el encéfalo se encargan de la menor percepción de un olor persistente. La transmisión de la información sensitiva para ese olor específico es inhibida al nivel del bulbo olfatorio por impulsos nerviosos provenientes de los centros en el encéfalo.

Los axones que salen de los bulbos olfatorios viajan a lo largo de los nervios olfatorios (par craneal I) para llegar a la corteza olfatoria, el hipotálamo y porciones del sistema límbico vía las cintillas olfatorias. La estimulación olfatoria es la única información sensitiva que llega a la corteza cerebral directamente; todos los otros sentidos son procesados primero por el tálamo. El hecho de que el sistema límbico y el hipotálamo reciban señales olfatorias ayuda a explicar la intensa respuesta emocional que pueden provocar determinados olores.

Discriminación olfatoria

El aparato olfatorio puede distinguir entre unos 2 000 a 4 000 estímulos químicos; sin embargo, no hay razones que expliquen esto en la estructura de las células receptoras mismas. Aunque el epitelio se divide en áreas de receptores con sensibilidad específica para determinados olores, al parecer el sistema nervioso central interpreta cada olor analizando el patrón global de la actividad de los receptores (Tortora y Derrickson, 2011). Se ha propuesto que el olor se percibe en olores primarios (Haehner *et al.*, 2013); el número exacto sigue siendo tema de controversia, y se estima que varía entre 7 y 30. Algunos de los olores que el individuo percibe no son detectados en absoluto por los receptores olfatorios; parte de lo que se percibe es en realidad dolor. La cavidad nasal contiene receptores de dolor que reaccionan a determinadas sustancias irritantes como el amoníaco, chiles o mentol. A medida que se envejece, la discriminación y la sensibilidad olfativas se reducen al perder receptores respecto al número total que se tenía a una edad menor; y los receptores que permanecen se hacen menos sensibles.

Consideraciones clínicas

Pérdida del sentido del olfato (anosmia)

La pérdida del sentido del olfato (llamada anosmia) habitualmente es un trastorno adquirido a causa de un traumatismo de la nariz o una lesión encefálica, aunque algunas personas nacen sin el sentido del olfato (anosmia congénita).

Aunque en apariencia es un problema menor, la pérdida del olfato a menudo se relaciona con depresión y menor calidad de vida (Neuland *et al.*, 2011).

Mientras que la anosmia temporal es común en afecciones como la rinitis, resfriado común y fiebre del heno, la anosmia permanente a menudo se relaciona con traumatismo, cirugía y afecciones degenerativas como la enfermedad de Alzheimer o la enfermedad de

Parkinson.

Se observa que la anosmia es un indicador temprano de la enfermedad de Parkinson; 95% de los pacientes presentan anosmia años antes de que aparezcan los síntomas motores (Haehner *et al.*, 2011).

A los pacientes con anosmia se les recomienda tomar determinadas medidas de seguridad:

- Instalar alarmas contra humo.
- Marcar con claridad las fechas de caducidad de alimentos y sobrantes.
- Leer las etiquetas de advertencia de sustancias químicas y limpiadores, a fin de evitar gases que pueden ser dañinos.
- Cambiar los aparatos de gas por eléctricos.

Véase NHS Choices (2015).

Sentido del gusto

Al igual que el olfato, el sentido del gusto ayuda a proteger contra sustancias tóxicas pero también guía el apetito. Hay cinco sabores básicos:

- Dulce.
- Agrio.
- Amargo.
- Salado.
- Umami.

Los cuatro primeros sabores son ya del conocimiento general, pero hasta hace poco el quinto era relativamente desconocido en el hemisferio occidental. El umami es el sabor de las proteínas de carne y pescado (Osawa, 2012), y los japoneses lo conocen desde hace tiempo como un concepto de gusto.

El sentido del gusto se relaciona con las papilas gustativas, que son los receptores sensitivos de sabor y se encuentran sobre todo en la cavidad bucal. Hay unas 10 000 papilas gustativas en la boca; la mayoría se localizan en la lengua, pero hay unas pocas en el paladar blando, la superficie interna de los carrillos, la faringe y la epiglotis.

La mayoría de las papilas gustativas se sitúan en proyecciones con forma de clavija de la mucosa lingual. Estas proyecciones se denominan papilas y dan a la lengua su textura ligeramente rugosa. Las papilas tienen cuatro formas principales (figura 14-3):

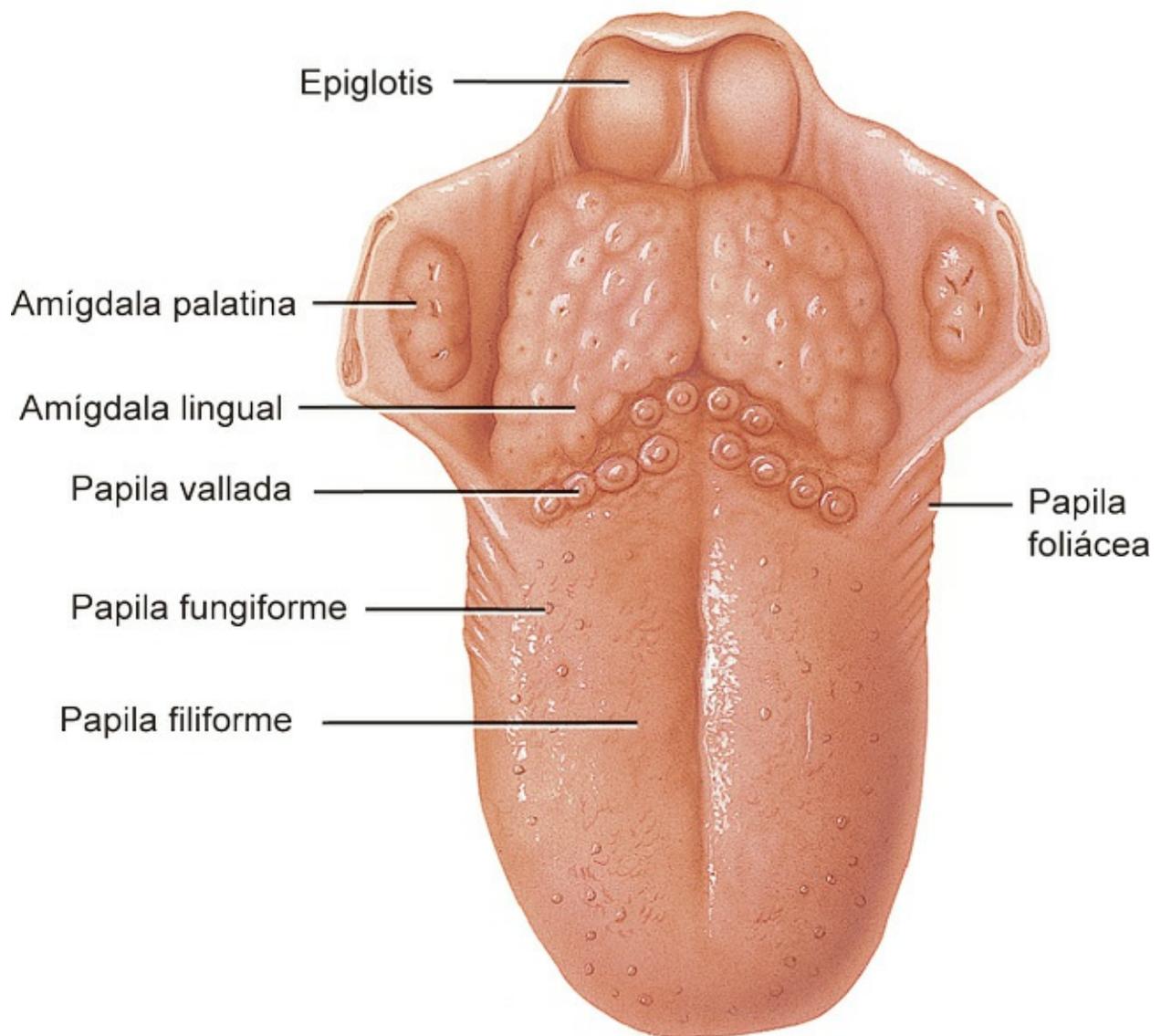


Figura 14-3. Lengua y localización de las papilas. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Fungiformes: las papilas con forma de hongo se encuentran dispersas sobre la superficie de la lengua, pero son más abundantes en la punta y los lados. Suelen contener 1 a 18 papilas gustativas, que se localizan en la cima de estas papilas.
- Circunvaladas (o valladas): son las más grandes y las menos numerosas. Hay 7 a 12 de ellas en un patrón de “V” invertida en la parte posterior de la lengua. Contienen alrededor de 250 papilas gustativas, que se localizan en las paredes laterales de estas papilas.
- Foliares: papilas en forma de hoja presentes en los lados de la parte posterior de la lengua, que contienen unas 100 papilas gustativas.
- Filiformes: estructuras en forma de hilo que no contienen papilas gustativas. Generan fricción para ayudar al movimiento del alimento por la lengua.

Papilas gustativas

Cada papila gustativa es una estructura globular que consiste de 40 a 60 células epiteliales de tres tipos principales (figura 14-4):

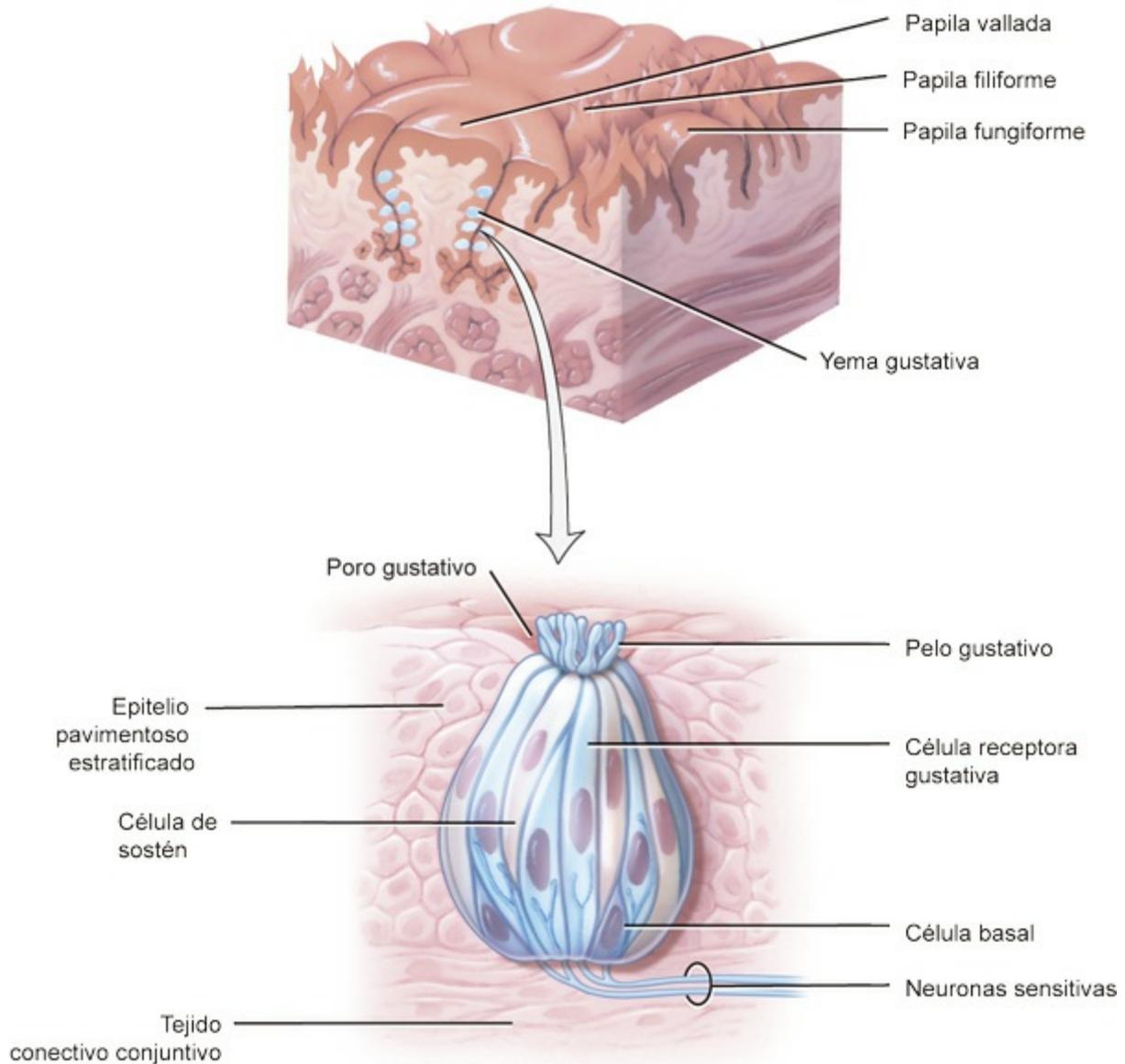


Figura 14-4. Corte transversal de parte de la lengua y vista microscópica de una papila gustativa. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Células de soporte de la parte más grande de la papila gustativa. Ayudan a aislar las células receptoras entre sí y del epitelio lingual.
- Células gustativas: representan el quimiorreceptor responsable del sentido del gusto.
- Células basales: células madre que al madurar se convierten en nuevas células receptoras para reponer las que mueren.

Tanto las células de soporte como las gustativas tienen largas microvellosidades (protrusiones de la membrana celular que incrementan su área superficial) llamadas pelos gustativos. Éstos se proyectan desde la punta de la célula y protruyen a través de un “poro gustativo” en el epitelio que permite que sean bañados por la saliva. Los pelos gustativos son la porción sensitiva de la célula gustativa.

En las células gustativas se enrollan las dendritas sensitivas, que son la parte inicial de la vía gustativa. Cada fibra nerviosa aferente recibe señales nerviosas de varias células receptoras.

Receptor gustativo

La activación del receptor gustativo requiere que el compuesto (denominado dominio molecular de sabor o simplemente sabor; Jenkins y Tortora, 2013) cuyo sabor se detectará se disuelva en la saliva, y luego se difunda en el poro gustativo y entre en contacto con los pelos gustativos. Según el tipo de sabor, esto tiene uno de cuatro efectos posibles (se desconoce el mecanismo exacto que interviene en la percepción del sabor umami):

- Salado: inicia un influjo de sodio hacia la célula.
- Agrio: induce un bloqueo por iones hidrógeno en los canales de sodio y potasio de la membrana celular.
- Amargo: provoca la entrada de iones calcio en la célula.
- Dulce: causa la desactivación de canales de potasio.

Todos estos efectos ocasionan la despolarización de la célula y la liberación de neurotransmisores. Los sabores salado y agrio tienen efectos directos en la membrana celular. Los sabores amargo, dulce y umami ejercen su acción en las células mediante sistemas de mensajeros activados por receptores acoplados a la proteína G.

Al parecer, la sensibilidad varía para diferentes sabores. Las personas son más sensibles a los sabores amargos, luego a los agrios, y por último a los dulces y salados. En alguna medida esto tiene una explicación evolutiva, ya que las sustancias tóxicas tienden a ser amargas, mientras que los ácidos y los alimentos descompuestos a menudo son agrios. Así, el ser humano es más sensible a aquellos sabores que pueden indicar que algo podría dañarlo.

Debe hacerse notar que las papilas gustativas no son el único medio por el cual se experimenta el sabor de un alimento. Es claro que el sentido del olfato también es de importancia vital para experimentar el sabor: sólo considérese cómo saben los alimentos cuando se tiene tapada la nariz por un resfriado; 80% del sentido del gusto es en realidad olfato. Como en el sentido del olfato, también hay receptores de dolor implicados en el sentido del gusto, y determinados sabores inducen un estímulo de dolor en lugar de uno gustativo.

Vía gustativa

La liberación de neurotransmisores por las células gustativas crea un potencial de acción en las fibras nerviosas aferentes relacionadas. La información sensitiva proveniente de la lengua se transmite por dos pares craneales:

- Cuerda timpánica: rama del nervio facial (par craneal VII); envía impulsos desde los dos tercios anteriores de la lengua.
- Rama lingual del nervio glossofaríngeo (par craneal IX): lleva la información sensitiva desde el tercio posterior de la lengua.

La información sensitiva procedente de las papilas gustativas en la epiglotis y la faringe es transmitida por el nervio neumogástrico (par craneal X). Todas las fibras aferentes terminan en el núcleo solitario del bulbo raquídeo. Los mensajes sensitivos son transmitidos en última instancia al tálamo y la corteza gustativa en los lóbulos parietales. También hay fibras aferentes que se proyectan en el hipotálamo y el sistema límbico. A fin de cuentas, muchas de las ramas de nervios aferentes que se desvían a diversas partes del encéfalo, aparte de la corteza, intervienen en la inducción de reflejos implicados en la digestión (p. ej., la salivación).

La vía gustativa es única entre los sentidos porque si las papilas gustativas pierden sus fibras nerviosas aferentes (por ejemplo, si se cortan), entonces la papila gustativa se degenera. A medida que el individuo envejece pierde el sentido del gusto ya que se reduce el número de papilas gustativas; las células gustativas mueren y no son sustituidas al mismo ritmo de su muerte, y las células que quedan se hacen menos sensibles.

Consideraciones clínicas

Trastornos del sentido del gusto

Los trastornos del sentido del gusto son relativamente comunes en la población general y pueden dividirse en tres tipos:

- Ageusia: pérdida completa del sentido del gusto. Es rara.
- Hipogeusia: es mucho más común, y consiste en una disminución de la capacidad de percibir los cinco sabores principales (salado, dulce, amargo, agrio y umami).
- Disgeusia: suele caracterizarse por un sabor desagradable, salado, rancio o metálico que persiste en la boca.

Las causas de la alteración de los sabores son diversas, y entre ellas se incluyen:

- Infecciones de vías respiratorias e intermedias.
- Radioterapia para cáncer de cabeza o cuello.
- Exposición a determinadas sustancias, como insecticidas y algunos medicamentos, incluidos ciertos antibióticos y antihistamínicos comunes.
- Traumatismo craneoencefálico.

- Algunos tipos de cirugía de oído, nariz y garganta (como la de oído medio) o extracción de la muela del juicio.
- Higiene bucal deficiente y problemas dentales.

La alteración del sentido del gusto puede afectar el apetito, y en especial en los ancianos puede ocasionar que coman menos. A los pacientes con un trastorno del sentido del gusto, para mejorar el apetito se les recomienda:

- Preparar alimentos con colores y texturas variados.
- Usar hierbas aromáticas y especias picantes para dar más sabor; sin embargo, debe evitarse aumentar el azúcar o la sal en los alimentos.
- Si la dieta lo permite, agregar a las hortalizas pequeñas cantidades de queso, trocitos de tocino, mantequilla, aceite de oliva o frutos secos (tipo nueces) tostados.
- Evitar platillos combinados, como los estofados, que pueden enmascarar sabores individuales, y diluirlos.

Sentidos del equilibrio y la audición

El oído se divide en tres secciones: externo, medio e interno (figura 14-5).

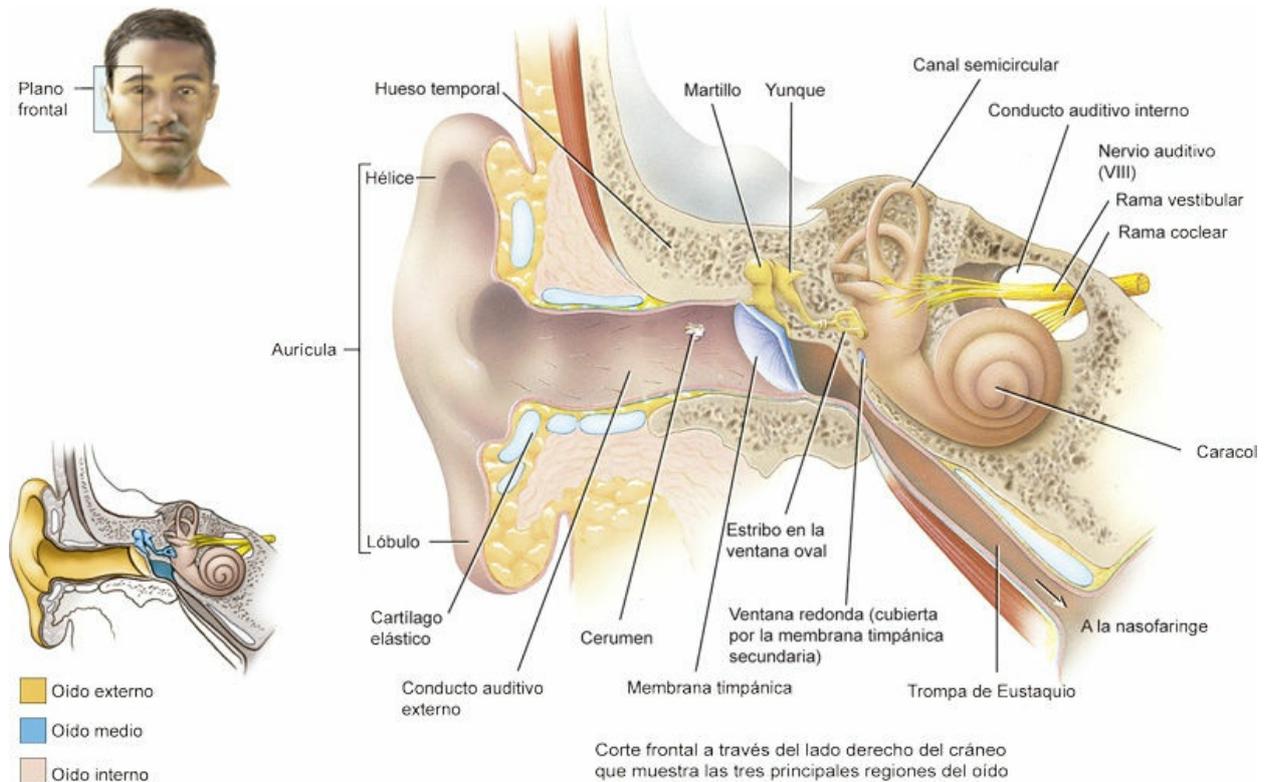


Figura 14-5. Estructura del oído. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cada una de estas tres secciones es esencial para el proceso de la audición, y el oído interno también lo es para el sentido del equilibrio.

Estructura del oído

Oído externo

El oído externo consiste en:

- Oreja (aurícula).
- Conducto auditivo externo.
- Membrana timpánica.

La oreja es la proyección redondeada que rodea el conducto auditivo externo. Consiste en cartilago elástico cubierto de piel. La oreja puede subdividirse más en el borde, llamado hélice, y el lóbulo auricular, que carece de cartilago de soporte y por ello es blando. La función de la oreja es dirigir las ondas de sonido al conducto auditivo externo.

El conducto auditivo externo (meato) es un pasaje estrecho y corto en forma de

S de unos 5 cm de largo y 0.6 cm de ancho, que se extiende desde la oreja hasta la membrana timpánica (figura 14-5). En el extremo más cercano a la oreja el conducto auditivo externo consiste de cartílago elástico; el resto del conducto pasa por el hueso temporal y por tanto no necesita cartílago de soporte. La totalidad del conducto está recubierta de piel con vellos, glándulas sebáceas (de aceite) y glándulas sudoríparas modificadas llamadas glándulas ceruminosas. Éstas secretan cerumen, una sustancia cerosa de color amarillo a pardo. El objetivo de los aceites y la cera es lubricar el conducto auditivo, destruir bacterias y, junto con los pelos, mantener el conducto libre de desechos.

Las ondas sónicas que entran en el conducto auditivo externo viajan hasta llegar a la membrana timpánica (tímpano), una delgada membrana translúcida de tejido conjuntivo cubierta de piel en su superficie externa y de mucosa en la interna, y con forma de cono aplastado que protruye en el oído medio. Las ondas sónicas que llegan a la membrana timpánica la hacen vibrar, y esta vibración se transmite a los huesecillos del oído medio.

Aplicación clínica

Los auxiliares auditivos convierten el habla y otros sonidos en señales acústicas que luego amplifican. Algunos de esos dispositivos aminoran los sonidos con las frecuencias más bajas, y otros amplifican los sonidos con las frecuencias más altas. Los avances en la tecnología han hecho posible disponer de auxiliares auditivos cada vez más pequeños y eficientes. Existen varios tipos distintos, que en ocasiones se denominan por el sitio en que se colocan: atrás de la oreja, en la oreja o dentro del conducto auditivo. Aunque amplifican los sonidos, estos aparatos no hacen las palabras más claras ni el habla más fácil de entender, salvo lo que se logra al hacer los sonidos más fuertes.

Los auxiliares auditivos captan el sonido que entra en el oído, lo procesan para compensar la pérdida auditiva y luego emiten de manera casi instantánea la señal hacia el oído. Los dispositivos digitales son mucho más avanzados que los analógicos. Contienen un microcircuito de silicio con millones de componentes eléctricos, que procesan de manera continua el sonido recibido, lo convierten en sonidos más claros y audibles y luego emiten éstos de vuelta al oído con el nivel de sonido apropiado. Los auxiliares auditivos digitales ayudan al usuario a distinguir entre sonidos que es necesario amplificar y ruido indeseable que es necesario reducir.

Los dispositivos digitales pueden modificarse para adaptarlos al grado de pérdida auditiva y el modo de vida de la persona. Tienen varias configuraciones predeterminadas, que pueden usarse en diversas situaciones, por ejemplo, conversaciones tranquilas, conciertos, o fiestas con mucho ruido de fondo. El usuario puede ver la televisión al tiempo que participa en conversaciones, identificar de dónde provienen los sonidos, eliminar silbidos y eco al hablar por teléfono, y conectarse por tecnología inalámbrica al televisor, teléfono portátil, computadora o sistema estereofónico.

Oído medio

También llamado cavidad timpánica, es una pequeña cavidad llena de aire y recubierta de mucosa, contenida dentro del hueso temporal. Está cerrada en

ambos extremos, por el tímpano en el extremo lateral y por el centro por una pared ósea con dos aberturas:

- Ventana oval (vestibular).
- Ventana redonda (coclear).

El oído medio está conectado con la nasofaringe por la trompa de Eustaquio (tuba auditiva), un conducto de 4 cm de largo que consta de dos porciones:

- La sección cercana a la conexión con el oído medio, que es estrecha y es sostenida por cartílago elástico.
- La sección cercana a la nasofaringe, que es amplia y tiene forma de embudo.

Cuando se abre, la trompa de Eustaquio permite el paso de aire, y esto asegura la ecualización de las presiones a ambos lados de la membrana timpánica, de modo que ambas estén sujetas a la misma presión atmosférica. La trompa de Eustaquio por lo general está cerrada en el extremo más próximo a la nasofaringe, pero se abre durante los bostezos y la deglución (Jenkins y Tortora, 2013). Si las presiones no se igualan, entonces la diferencia de presión entre los dos lados puede reducir la agudeza auditiva, ya que la membrana timpánica no puede moverse libremente.

Dentro del oído medio hay tres huesos, llamados huesecillos o cadena osicular. Estos tres huesos conectan la membrana timpánica con los complejos de receptores en el oído interno:

- El martillo se une en tres puntos a la superficie interna de la membrana timpánica.
- El yunque une el martillo con el estribo.
- El estribo está unido por los bordes de su base con el borde de la ventana oval.

Las articulaciones entre estos tres huesos son las articulaciones sinoviales más pequeñas del cuerpo, y cada una tiene sus propios ligamentos extracapsulares de soporte y cápsula, diminutos.

La vibración de la membrana timpánica es la primera etapa en la percepción del sonido; esta vibración convierte las ondas sónicas en movimiento mecánico (la vibración). Los huesecillos actúan como palancas y conducen las vibraciones al oído interno. Están conectados de tal modo que el movimiento hacia dentro y fuera de la vibración timpánica es convertido en un movimiento de vaivén del estribo. Los huesecillos captan la fuerza aplicada a la membrana timpánica, la amplifican y la transmiten a la ventana oval. Esta amplificación explica por qué el ser humano puede oír incluso ruidos muy leves, pero también puede tener problemas en ambientes muy ruidosos. Para proteger la membrana timpánica y la cadena osicular contra movimientos violentos causados por ruidos extremos, son sostenidas por dos pequeños músculos:

- El músculo tensor del tímpano es una cinta corta de músculo conectada al “mango” del martillo. Cuando esa cinta se contrae, tira del martillo hacia el centro (hacia el oído interno), tensando la membrana timpánica.
- El músculo estapedio se une al estribo y tira de él, con lo que reduce el movimiento contra la ventana oval.

Oído interno

Los sentidos de equilibrio y oído dependen de los receptores del oído interno.

El oído interno también se conoce como laberinto, debido a la complicada serie de conductos que contiene. Consiste de dos partes principales llenas de líquido:

- Laberinto óseo: serie de cavidades dentro del hueso temporal que contienen los principales órganos del equilibrio (canales semicirculares y vestíbulo) y el principal órgano del oído (el caracol).
- Laberinto membranoso: una serie de sacos y tubos llenos de líquido contenidos en el laberinto óseo.

Entre los laberintos óseo y membranoso fluye la perilinfa, un líquido muy parecido al líquido cefalorraquídeo; el líquido del laberinto membranoso se conoce como endolinfa.

Como ya se dijo, el laberinto óseo puede dividirse en tres partes (figura 14-6):

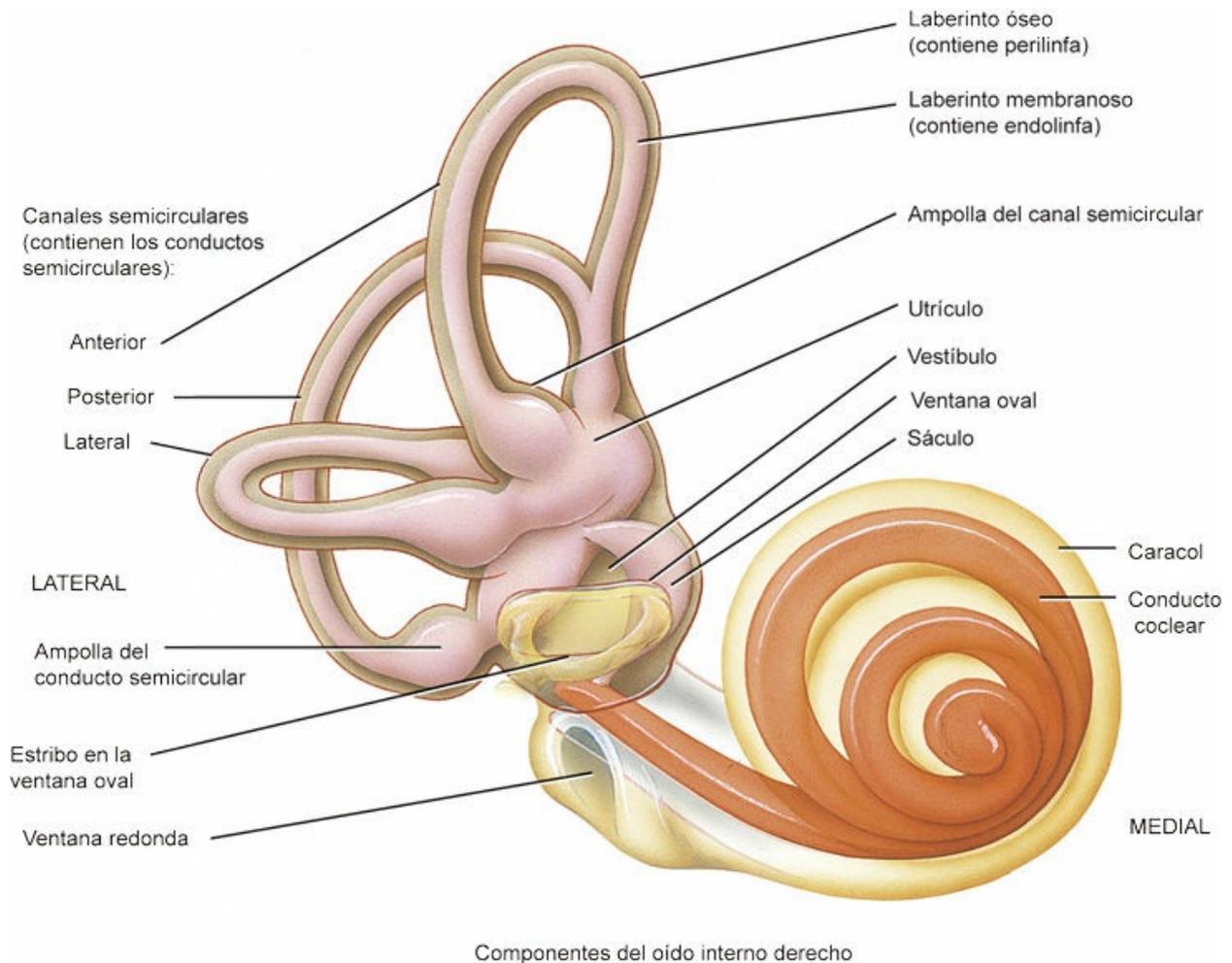


Figura 14-6. Oído interno. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

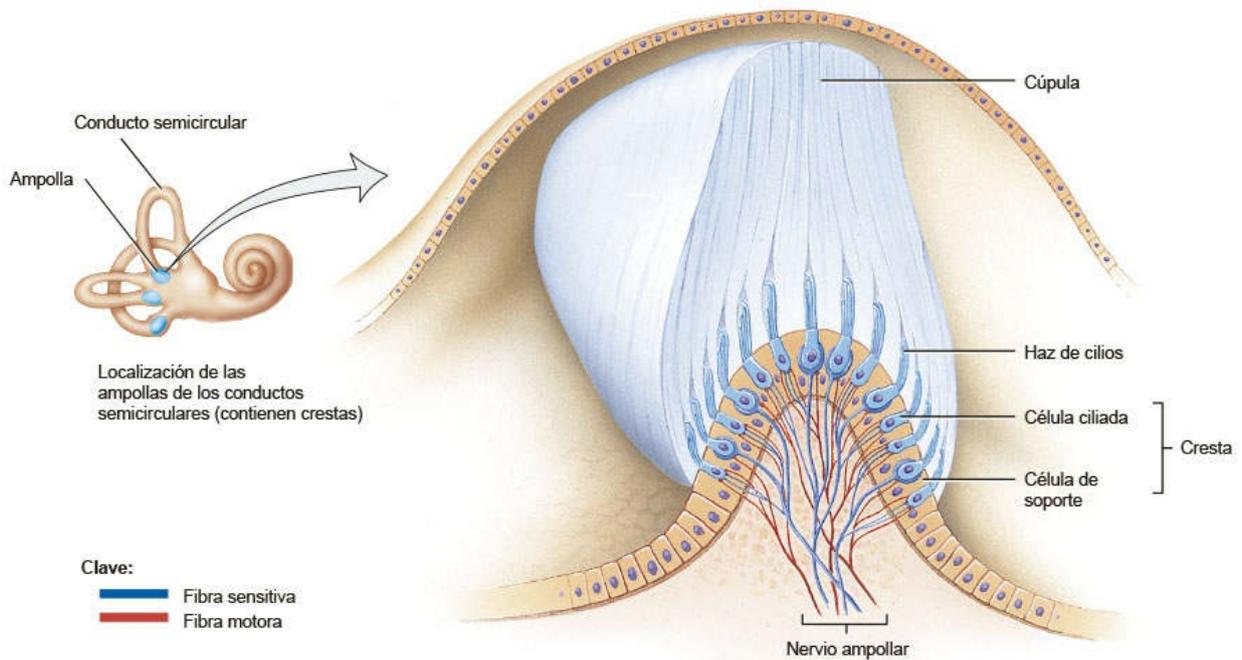
- El vestíbulo consiste en un par de sacos membranosos: el sáculo y el utrículo. Los receptores presentes en estos dos sacos permiten sentir la gravedad y la aceleración lineal.
- Los canales semicirculares contienen delgados conductos semicirculares. Receptores situados en estos conductos son estimulados por la rotación de la cabeza. La combinación de vestíbulo y canales semicirculares se conoce como complejo vestibular.
- El caracol es una cámara en espiral que contiene el conducto coclear del laberinto membranoso. Receptores en este conducto hacen posible el sentido del oído.

Equilibrio

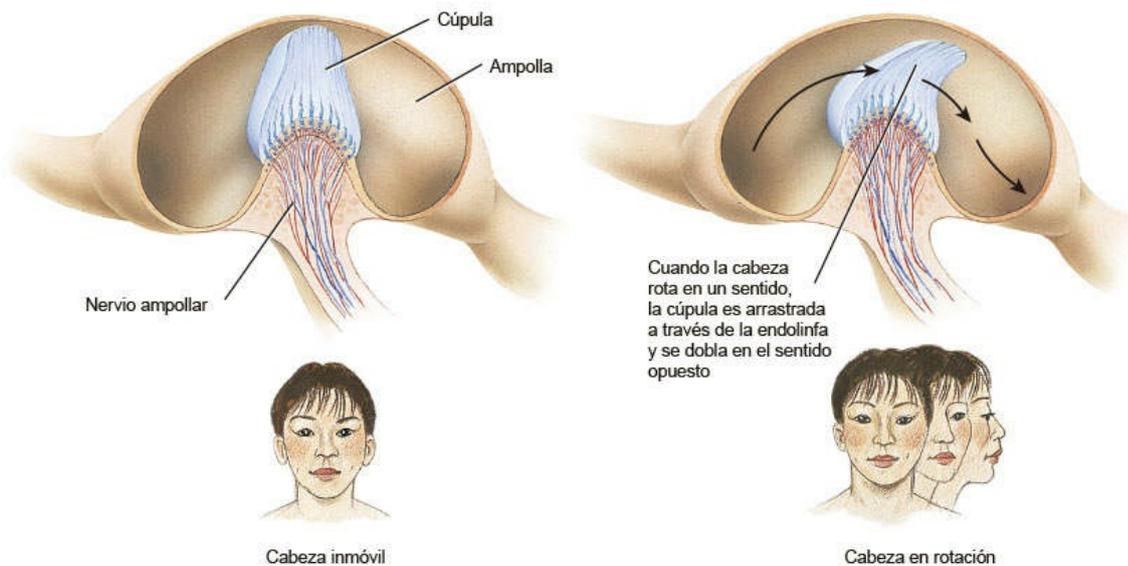
El sentido del equilibrio es controlado por receptores en los conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo del oído interno. Los receptores sensitivos en los conductos semicirculares son activos durante el movimiento pero inactivos cuando el cuerpo está inmóvil. Los receptores sensoriales en los conductos reaccionan a movimientos rotacionales de la cabeza. Hay tres de estos conductos: lateral, posterior y anterior.

Los conductos son continuos con el utrículo. Cada conducto semicircular contiene una ampolla, una región expandida que contiene la mayoría de los receptores. La zona de la pared de la ampolla que contiene los receptores se denomina cresta, y cada cresta está unida a una cúpula, una estructura gelatinosa que se extiende a todo lo ancho de la ampolla. Las células ciliadas (receptores) están rodeadas por células de soporte y son controladas por las dendritas de neuronas sensitivas.

Las superficies libres de las células ciliadas están cubiertas por estereocilios, parecidos a microvellosidades muy largas. Además de los finos estereocilios, la célula ciliada también tiene un cinocilio, un único cilio largo y grueso. Cuando una fuerza externa empuja contra los cilios, la distorsión de la membrana plasmática de la célula ciliada modifica el ritmo al que la célula libera transmisores químicos. Así, por ejemplo si una persona mueve la cabeza para ver hacia la izquierda, los cilios del canal semicircular lateral son sometidos a presión, y por lo tanto las membranas celulares se distorsionan, lo que modifica la liberación de neurotransmisores y la percepción del movimiento rotacional (figura 14-7). Cualquier movimiento de la cabeza puede ser percibido por distintas combinaciones de estímulos de los tres conductos y sus receptores.



(a) Detalles de la cresta

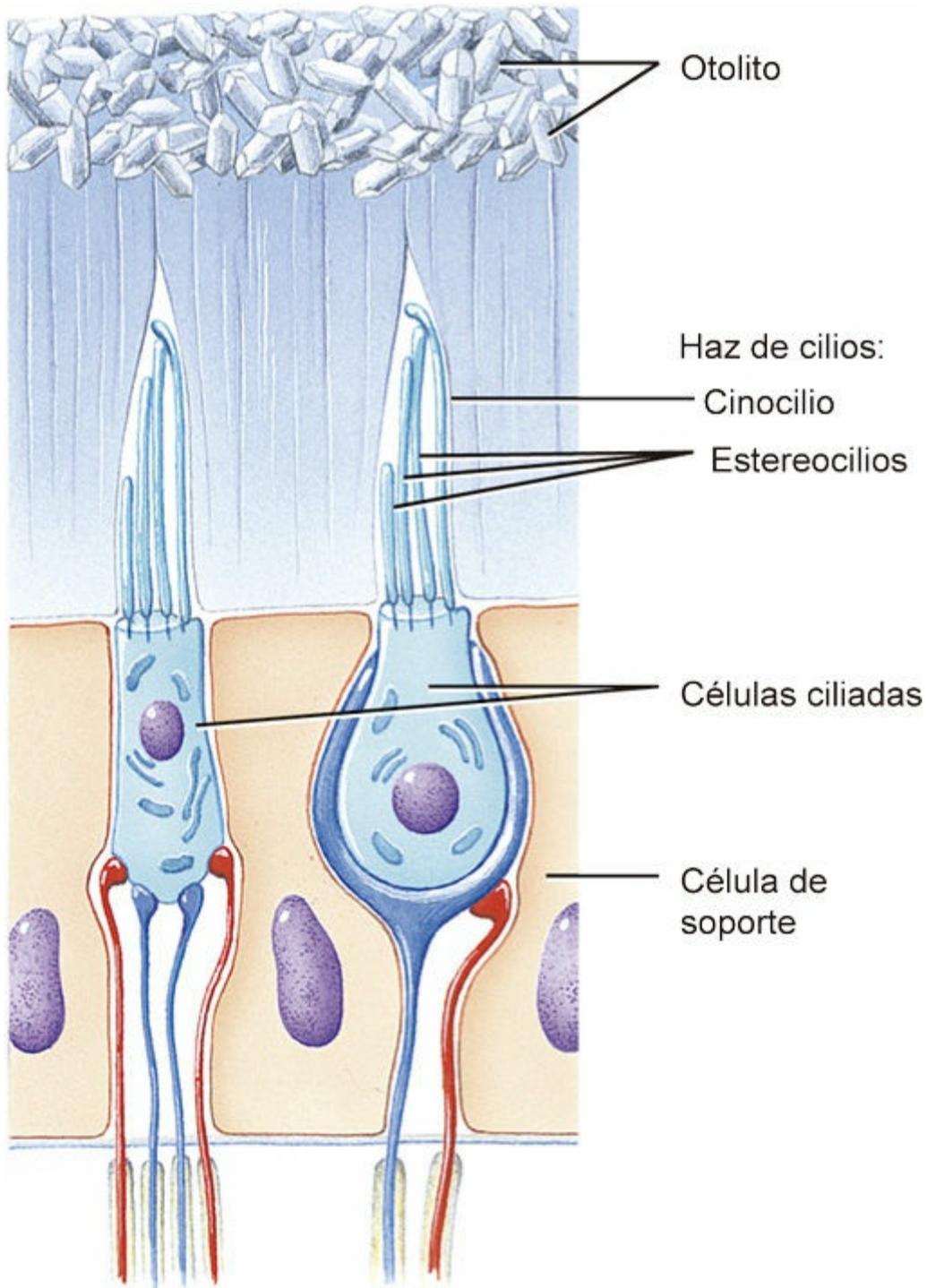


(b) Posición de una cúpula con la cabeza inmóvil (izquierda) y cuando la cabeza rota (derecha)

Figura 14-7. (a, b) Ampolla en reposo y en respuesta al movimiento. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

En contraste con los canales semicirculares, el utrículo y el sáculo proporcionan información sobre el equilibrio, ya sea que el cuerpo esté en movimiento o estacionario. Las dos cámaras están conectadas por un estrecho pasadizo que a su vez se comunica con el conducto endolinfático. Las células ciliadas de utrículo y sáculo se arraciman en estructuras ovaladas que reciben el nombre de máculas. Como en el caso de las células ciliadas de las ampollas, los cilios de las células ciliadas del utrículo y el sáculo están embebidas en una sustancia gelatinosa. Sin embargo, la superficie de esta sustancia contiene cristales de carbonato de calcio densamente empacados denominados

estatoconios. Esta combinación de sustancia gelatinosa y cristales de carbonato de calcio se conoce como otolito (figura 14-8).

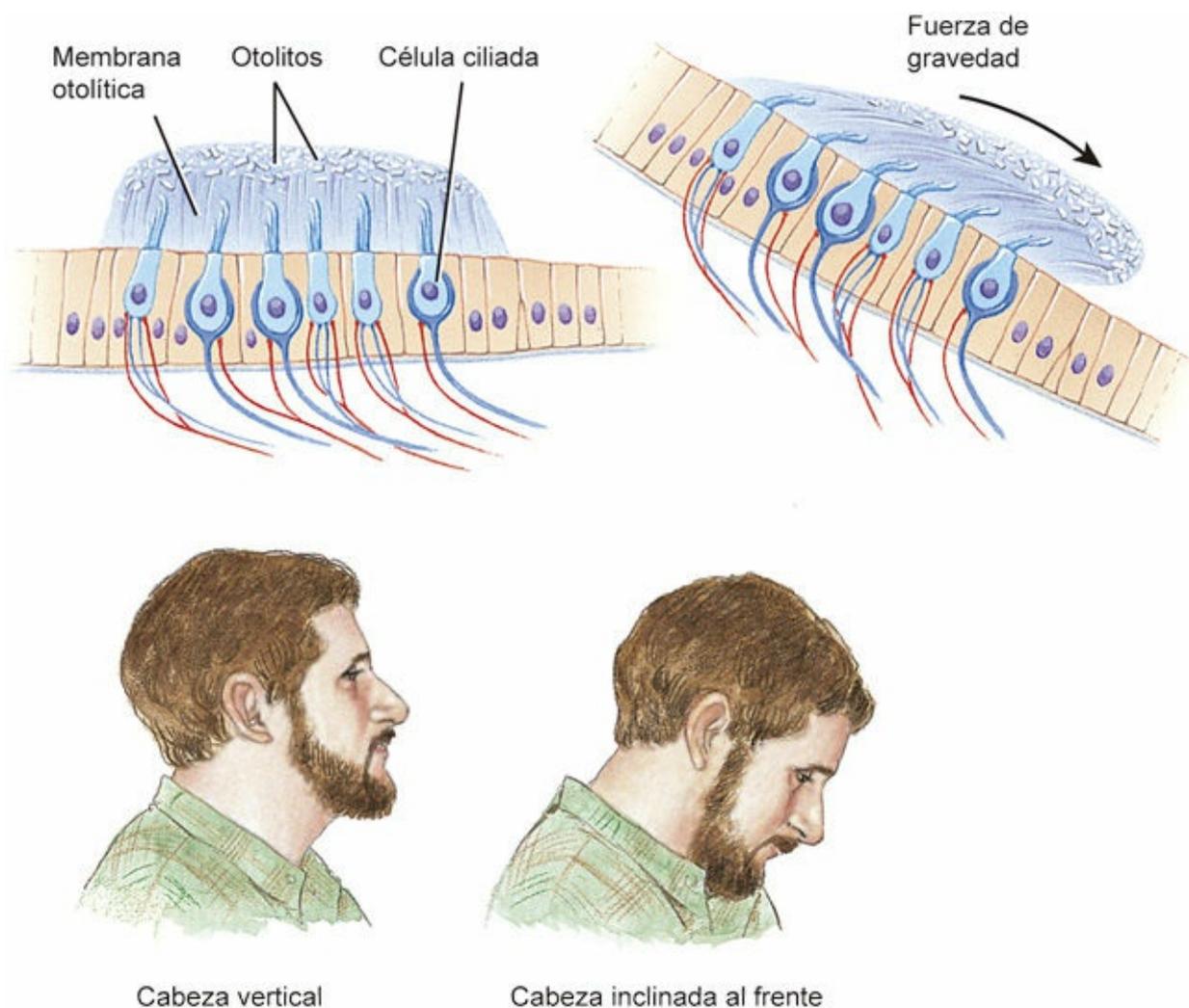


Detalles de dos células ciliadas

Figura 14-8. Células ciliadas y otolito. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Cuando la cabeza está en posición neutra, los estatoconios descansan en la

cima de la mácula. Por lo tanto, la presión que generan es descendente y las microvellosidades de la célula ciliada son empujadas hacia abajo. Cuando se inclina la cabeza, la tracción de la gravedad contra los estatoconios se desplaza y las microvellosidades se mueven a uno u otro lado. Esto distorsiona la membrana celular e induce cambios en la liberación de neurotransmisor (figura 14-9).



Posición de la mácula con la cabeza vertical (izquierda) e inclinada al frente (derecha)

Figura 14-9. Acción de la gravedad en el otolito. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Un tipo similar de actividad ocurre cuando el cuerpo se somete a una aceleración lineal; por ejemplo, cuando la persona viaja en un auto que acelera, los otolitos quedan atrás debido a la inercia. En condiciones normales, el encéfalo distingue entre la acción de la gravedad y el efecto de la aceleración, integrando la información procedente de los receptores con información visual.

Vías para las sensaciones del equilibrio

Las células ciliadas de los canales semicirculares, el vestíbulo y el sáculo son controladas por neuronas sensitivas localizadas en los ganglios vestibulares. Fibras sensitivas procedentes de estos ganglios forman la rama vestibular del nervio auditivo (par craneal VIII). Estas fibras desembocan en neuronas de los núcleos vestibulares en el límite del puente de Variolo y el bulbo raquídeo.

Los núcleos vestibulares tienen cuatro funciones:

- Integrar información sensorial acerca del equilibrio, recibida desde ambos lados de la cabeza.
- Reenviar información al cerebelo.
- Reenviar información a la corteza.
- Dar órdenes a los núcleos motores del tallo encefálico y la médula espinal. Las órdenes motoras son señales parecidas a reflejos para realizar movimientos oculares, de cabeza y de cuello, como el movimiento de los ojos que ocurre en respuesta a sensaciones de desplazamiento.

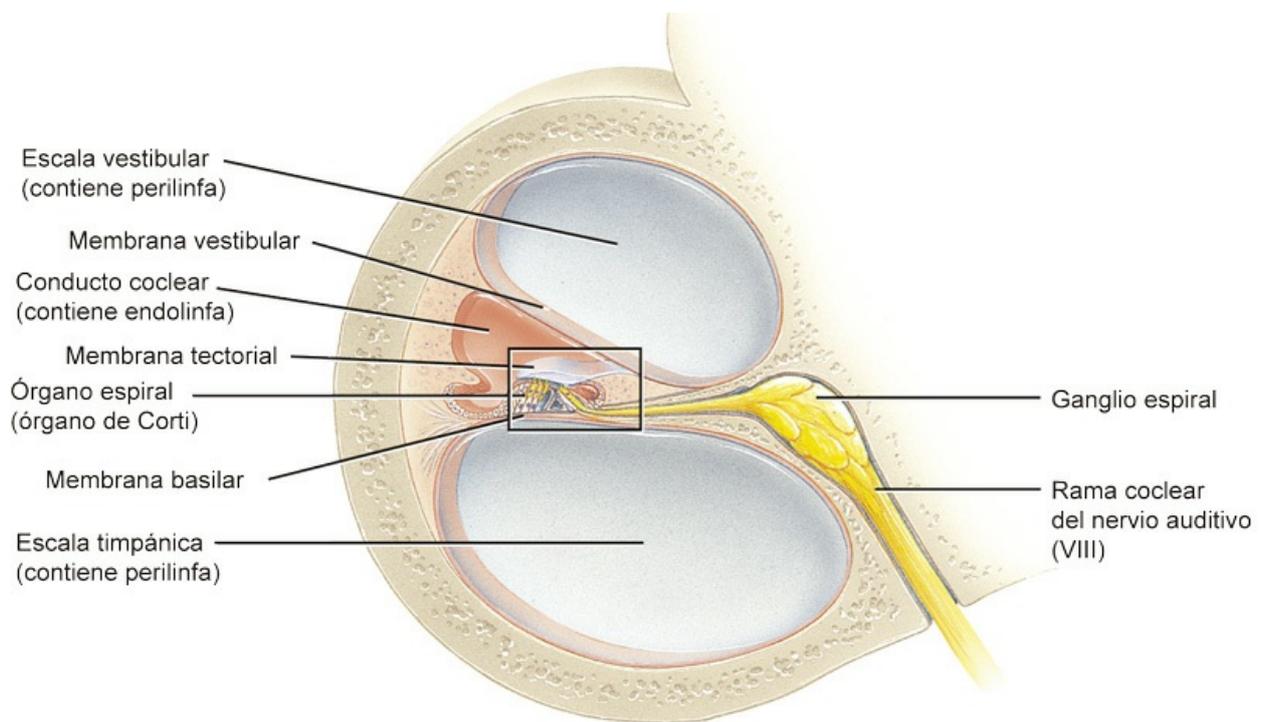
Audición

El sentido del oído depende de receptores en el conducto coclear; son células ciliadas similares a las de canales semicirculares y vestíbulo. Sin embargo, su posición dentro del conducto coclear y la organización de las estructuras circundantes las protege contra estímulos generados por cualquier otra cosa que no sean ondas de sonido.

Las cadenas osiculares transmiten y amplifican ondas de presión procedentes del aire a ondas de presión en la perilinfa del caracol. Estas ondas estimulan las células ciliadas situadas a lo largo de la espiral del caracol:

- La **frecuencia** del sonido percibido es detectada por la parte del conducto coclear que se estimula.
- La **intensidad** (volumen) del sonido es detectada por la cantidad de células ciliadas que se estimulan en el punto específico del caracol.

Dentro del laberinto óseo del caracol hay tres conductos (figura 14-10):



Corte a través de una vuelta del caracol

Figura 14-10. Corte transversal del caracol (la sección en el recuadro se muestra en detalle en la figura 14-12). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- El conducto vestibular (escala vestibular) se conecta con la ventana oval.
- El conducto timpánico (escala timpánica) se comunica con la ventana redonda.
- El conducto coclear (escala media) está separado del conducto timpánico por la membrana basilar.

Tanto el conducto vestibular como el conducto timpánico están conectados con la punta de la espiral del caracol, y por lo tanto constituyen una cámara perilinfática continua (figura 14-11).

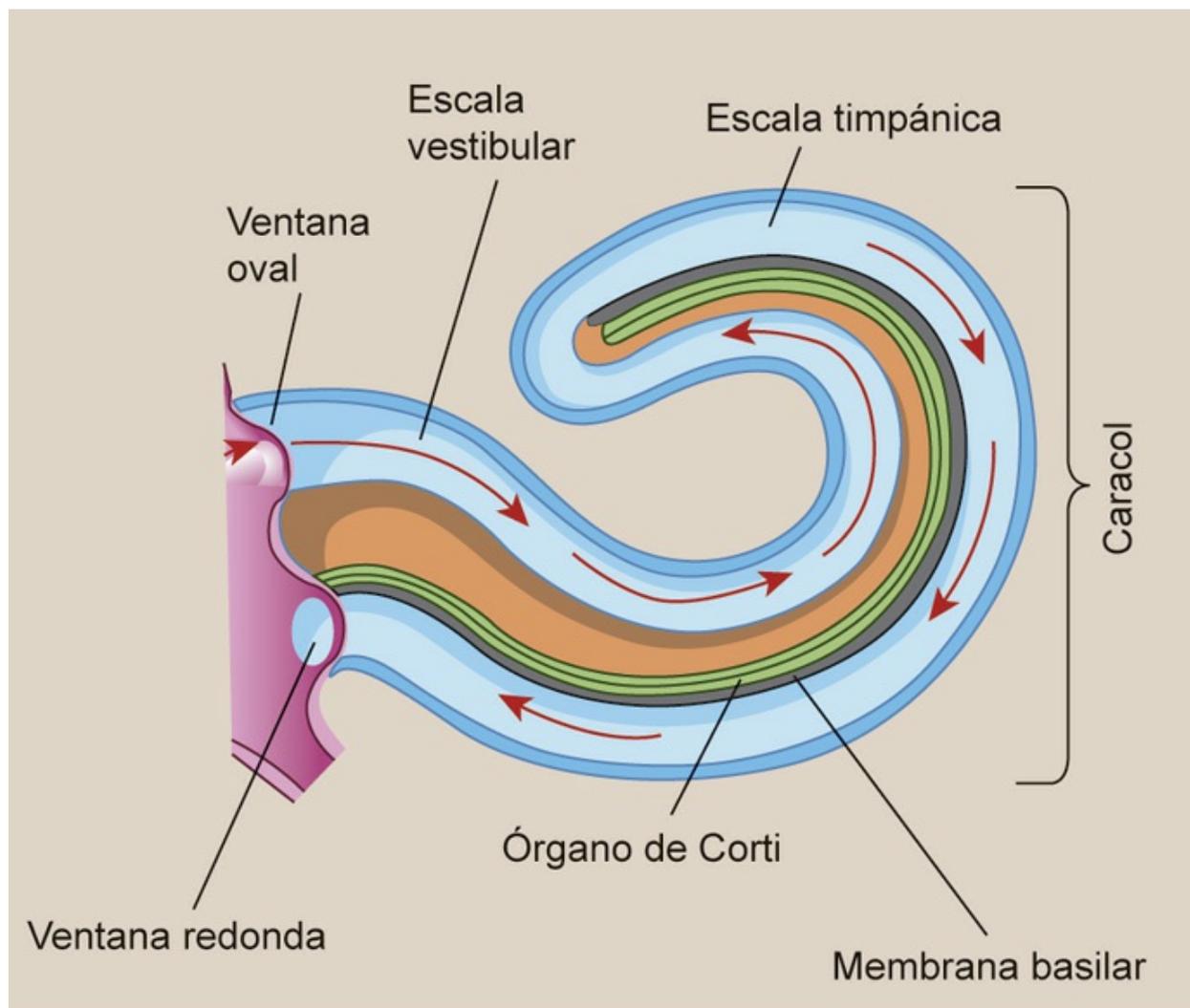


Figura 14-11. Caracol; se muestra la naturaleza continua de los conductos vestibular y timpánico.

Entre los conductos vestibular y timpánico está el conducto coclear; las células ciliadas de este conducto se localizan en una estructura llamada órgano de Corti (figura 14-12). El órgano de Corti se asienta en la membrana basilar, y sus células ciliadas están dispuestas en una serie de filas longitudinales.

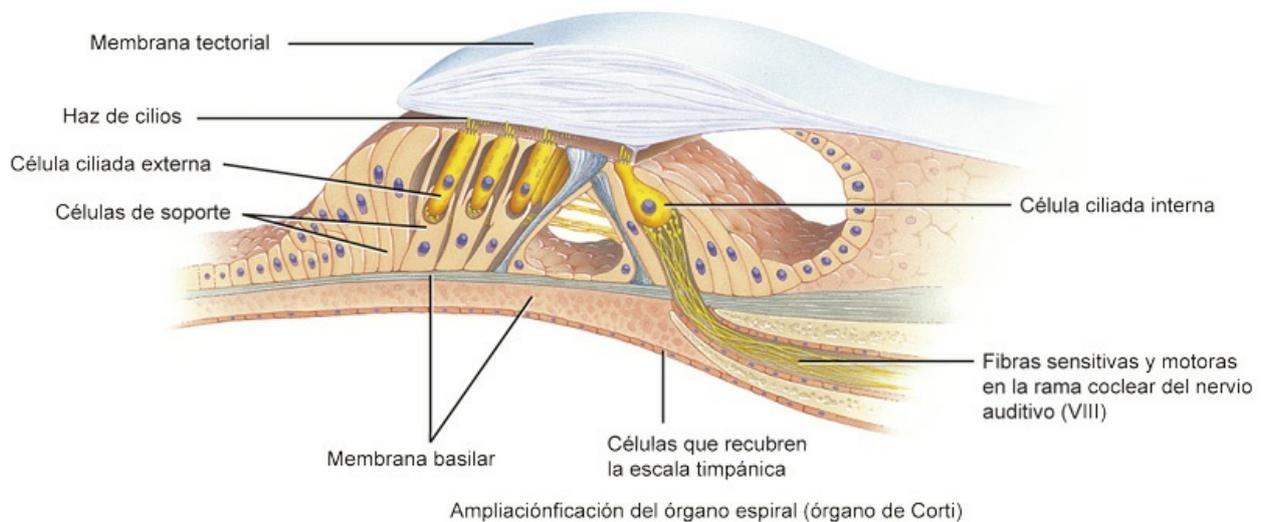


Figura 14-12. Órgano de Corti. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Las células ciliadas del órgano de Corti no tienen cinocilios, y sus estereocilios están en contacto con la membrana tectorial suprayacente; esta membrana está unida a la pared interna del conducto coclear. Cuando una porción de la membrana basilar oscila arriba y abajo en respuesta a ondas de presión en la perilinfa, los estereocilios de las células ciliadas se comprimen contra la membrana tectorial y se distorsionan.

Proceso de la audición

1. Las ondas de sonido viajan por el conducto auditivo externo y llegan a la membrana timpánica.
2. Se crea movimiento en la membrana timpánica, que mueve los huesecillos y amplifica el movimiento.
3. El movimiento del estribo en la ventana oval crea ondas de presión en la perilinfa del conducto vestibular.
4. Las ondas de presión distorsionan la membrana basilar. El sitio de la máxima distorsión depende de la frecuencia del sonido, ya que la membrana basilar varía en anchura y flexibilidad a lo largo de su longitud. Los sonidos de tono más alto crean la máxima distorsión cerca de la ventana oval, y los sonidos de tono más bajo lo hacen lejos de la ventana. La cantidad de distorsión proporciona información sensitiva acerca del volumen del sonido.
5. La vibración de la membrana basilar a su vez hace vibrar los cilios de la célula ciliada contra la membrana tectorial, ocasionando la liberación de neurotransmisores por las células ciliadas. Dado que las células ciliadas están dispuestas en filas, un sonido suave sólo puede distorsionar unas pocas células ciliadas de una misma fila, pero más células en más filas serán estimuladas cuando el volumen aumente.
6. La información acerca de la zona y la intensidad de la estimulación es enviada al encéfalo a través de la rama coclear del nervio auditivo (par craneal

VIII). Los somas de las neuronas que controlan las células ciliadas del caracol se encuentran en los ganglios espirales en el centro del caracol óseo. Los impulsos nerviosos son transmitidos entonces por medio de la rama coclear del par craneal VIII a los núcleos cocleares del bulbo raquídeo, y luego a otros centros del encéfalo.

Manejo de medicamentos

Ototoxicidad

La ototoxicidad es la propiedad de ser tóxico para el oído. Hay más de 200 fármacos potencialmente ototóxicos, con efectos como el tinnitus y la pérdida auditiva.

Muchos de esos fármacos son de uso común en medicina, como es el caso de:

- Furosemida.
- Gentamicina.
- Metoprolol.
- Ramiprilo.
- Valproato sódico.

Debe indicarse a los pacientes que si experimentan o sospechan cualquier tinnitus o pérdida auditiva con un medicamento no lo suspendan hasta no haberlo comentado con su médico.

Cómo evitar la ototoxicidad

Muchos fármacos ototóxicos se excretan en la orina, de modo que lo mejor es evitarlos en pacientes con deterioro renal, y prescribirlos con cautela en ancianos. Además, el paciente debe estar bien hidratado para asegurar un funcionamiento renal adecuado.

Fármacos como la gentamicina y la vancomicina por lo general se prescriben a horas fijas, y la enfermera debe evitar administrarlos demasiado temprano, ya que ello puede causar una concentración sanguínea excesiva. Asimismo, se miden a intervalos regulares los valores sanguíneos de estos fármacos, y es importante apearse a las instrucciones del médico acerca de la administración antes y después de darlos.

La intoxicación por furosemida se relaciona con la rapidez de su administración, por lo que es esencial seguir las instrucciones al administrar furosemida intravenosa.

Consideraciones clínicas

Exposición al ruido y daño ótico

Al aumentar los niveles de ruido también lo hace la probabilidad de daño al oído. En el siguiente cuadro se muestran ejemplos de los tipos de ruido a determinados niveles (en decibeles, dB) y el tiempo de exposición al que puede ocurrir daño.

| Nivel de ruido (dB) | Exposición máxima al día | Ejemplos |
|---------------------|--------------------------|----------------------|
| 10 | | Respiración |
| 20 | | Rumor de hojas secas |

| | | |
|-----------|-----------------------------|--|
| 60 | | Conversación |
| 75 | | Interior típico de un auto en una vía rápida |
| 85 | 16 h | Tráfico urbano (dentro de un auto) |
| 90 | 9 h | Taladro eléctrico, procesador de alimentos |
| 97 | 3 h | Corno francés a 3 m |
| 100 | 2 h | Tractor agrícola, motor fuera de borda, despegue de un jet a 300 m |
| 110 | 0.5 h | Sierra de cadena, taladro neumático, claxon de un auto a 1 m |
| 120 | 0 h | Concierto de rock típico, ovación cerrada |
| 125 | Ocurre daño auditivo | Remachadora neumática a 1.3 m |
| 132 a 140 | Daño auditivo permanente | Disparo de arma de fuego, concierto de rock muy ruidoso a 15 m del frente de los altavoces |
| 150 a 160 | Rotura timpánica | Despegue de un jet a 25 m, disparo de arma de fuego a 30 cm |
| 190 | Muerte inmediata del tejido | Motor jet a 30 cm |
| 194 | | Sonido más intenso posible en el aire, distorsión de partículas de aire (estampido sónico) |

Sentido de la vista

La visión es quizá el sentido que más valora la persona; el ser humano aprende más acerca del mundo que lo rodea a través de la vista que de cualquier otro sentido. Sin la vista, muchas de las tareas cotidianas y de los placeres serían imposibles, y muchos otros se harían más difíciles. El sentido de la vista se basa en los ojos, y alrededor de los ojos hay estructuras accesorias que ayudan a su protección y funcionamiento (figura 14-13):

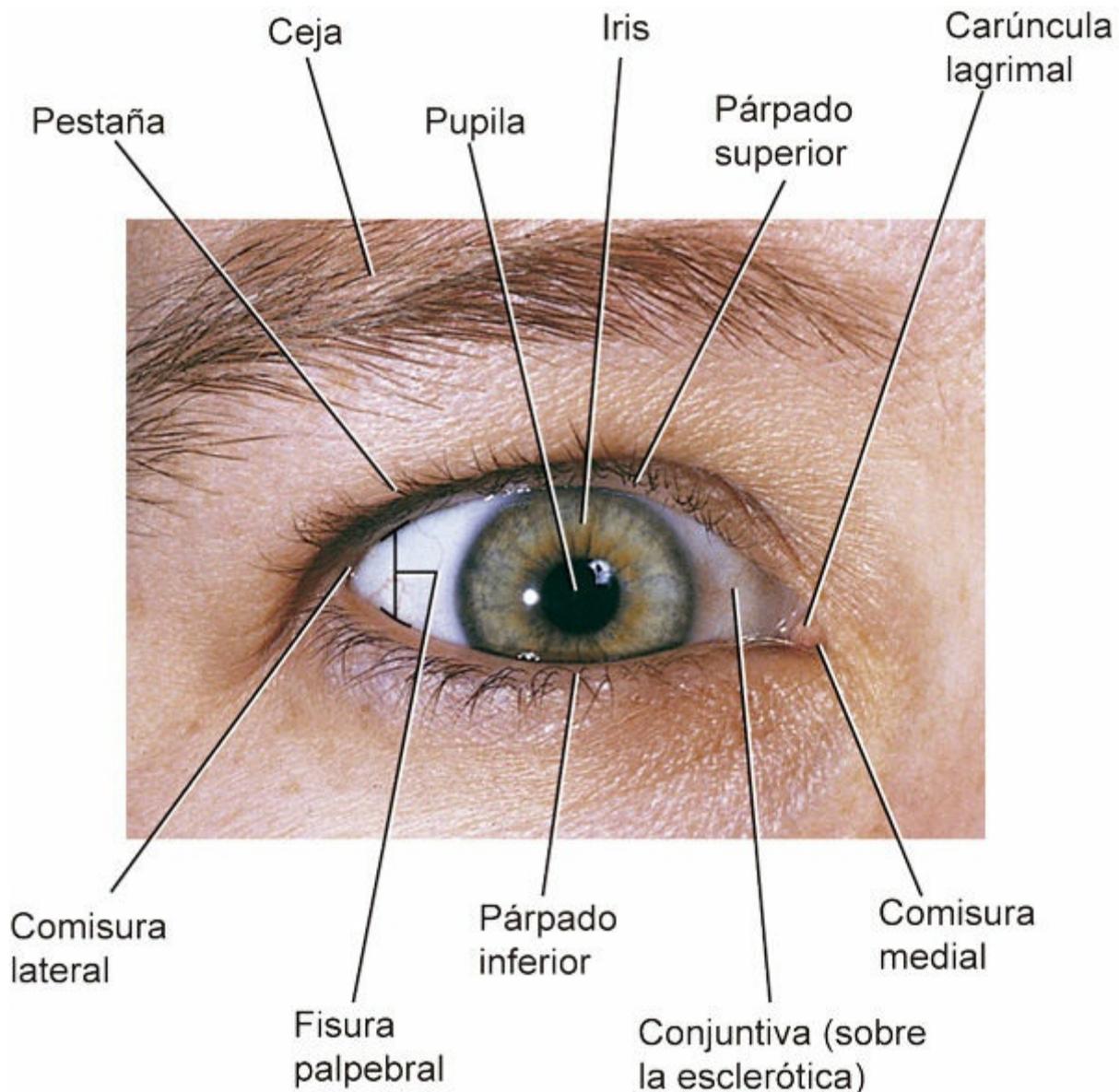


Figura 14-13. Estructuras accesorias del ojo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Párpados: son una continuación de la piel. El parpadeo frecuente mantiene la superficie de los ojos lubricada y elimina suciedad. El espacio entre ellos se conoce como fisura palpebral.
- Pestañas: pelos gruesos que mantienen los cuerpos extraños fuera de los ojos.

Se relacionan con las glándulas de Meibomio, que producen una secreción rica en lípidos la cual ayuda a impedir que los párpados se adhieran entre sí.

- Carúncula lagrimal: pequeña elevación de tejido blando que contiene glándulas accesorias.
- Comisura: punto en que los párpados se unen; son dos, la lateral y la medial.
- Conjuntiva: capa de células epiteliales que reviste el interior de los párpados y la superficie externa del ojo.

Aparato lagrimal

Un flujo constante de lágrimas lava los ojos para mantener la conjuntiva húmeda y limpia. Las lágrimas tienen varias funciones:

- Reducen la fricción.
- Eliminan cuerpos extraños.
- Previenen infecciones bacterianas.
- Proporcionan nutrimentos y oxígeno a partes de la conjuntiva.

El aparato lagrimal produce, distribuye y elimina las lágrimas. Consiste en:

- Una glándula lagrimal.
- Canalículos lagrimales.
- Un saco lagrimal.
- Un conducto nasolagrimal.

La glándula lagrimal produce la mayor parte del contenido de las lágrimas (alrededor de 1 mL al día). Una vez que las secreciones lagrimales llegan al ojo, se mezclan con los productos de las glándulas accesorias y las glándulas de Meibomio. Esto da por resultado una mezcla que lubrica el ojo y reduce la evaporación. Las demandas de nutrimentos y oxígeno de las células corneales son cubiertas por difusión de las secreciones lagrimales. Las secreciones también contienen enzimas antibacterianas y anticuerpos que atacan a los patógenos antes de que ingresen en el cuerpo.

El parpadeo dispersa las lágrimas sobre la superficie ocular, y aquéllas se acumulan en la comisura medial, desde donde son drenadas por los canalículos lagrimales hacia el saco lagrimal y de ahí a la cavidad nasal a través del conducto nasolagrimal.

Ojo

Pared ocular

La pared ocular tiene tres capas (figura 14-14):

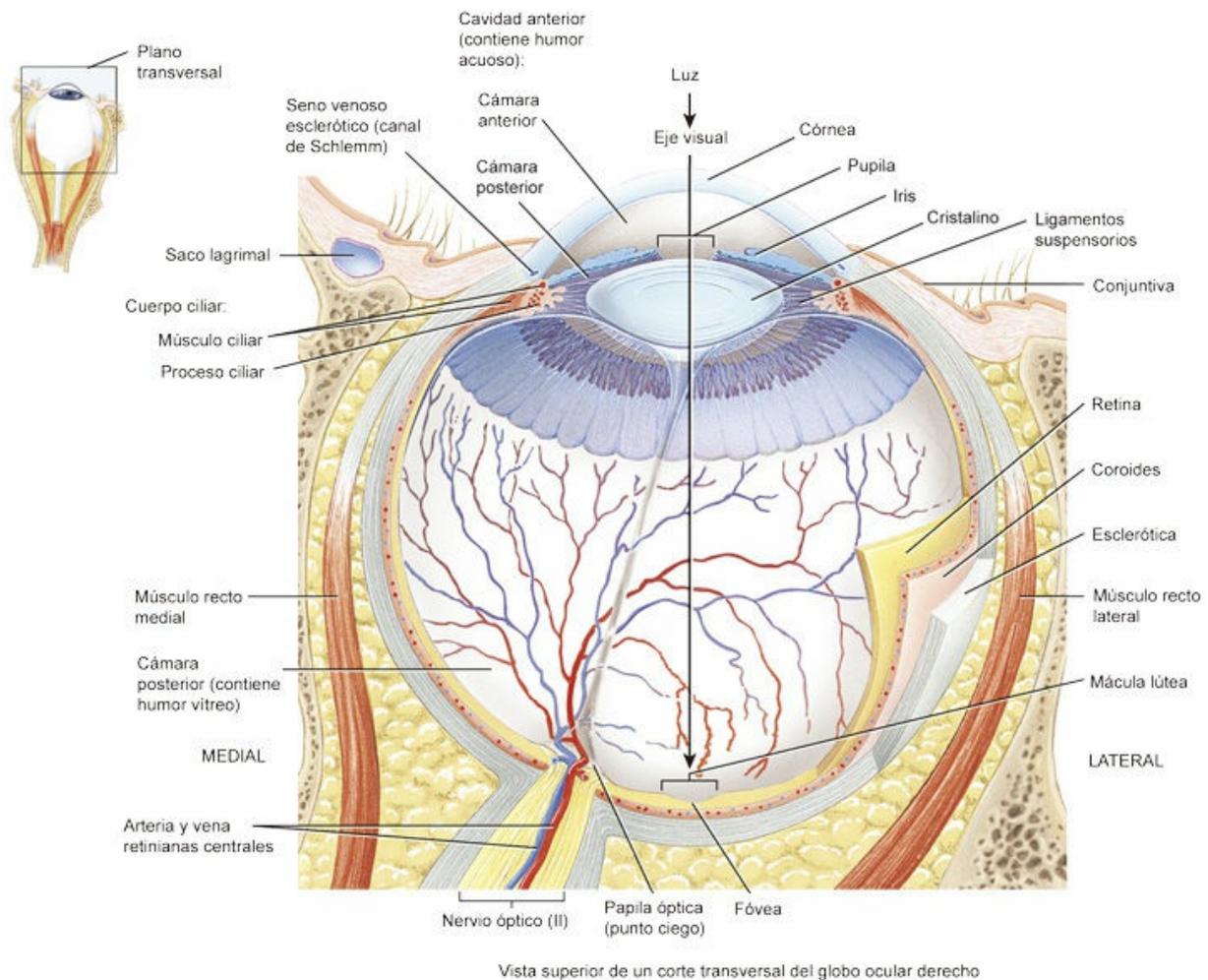


Figura 14-14. Anatomía del ojo. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Túnica fibrosa.
- Túnica vascular.
- Túnica neural.

Túnica fibrosa

La túnica fibrosa es la capa más externa del ojo y consiste en la esclerótica y la córnea; tiene tres funciones principales:

- Da soporte y alguna protección.
- Es el sitio de fijación para los músculos extrínsecos.
- Contiene estructuras que ayudan en el proceso de enfoque.

La mayor parte de la superficie ocular está cubierta por la esclerótica (el “blanco” del ojo), que consiste en tejido conjuntivo fibroso denso que contiene fibras de colágeno y elásticas. La superficie de la esclerótica tiene pequeños vasos sanguíneos y nervios. La córnea transparente es continua con la esclerótica y consiste de una matriz densa de fibras dispuestas de modo que no interfieren

en el paso de la luz.

Túnica vascular (úvea)

La túnica vascular es la intermedia de las tres capas del ojo, y contiene numerosos vasos sanguíneos, vasos linfáticos y los músculos lisos que intervienen en el funcionamiento del ojo. Entre las funciones de esta capa están:

- Proporcionar una estructura para los vasos sanguíneos y linfáticos que sirven a los tejidos oculares.
- Regular la cantidad de luz que entra en el ojo.
- Secretar y reabsorber el humor acuoso.
- Controlar la forma del cristalino.

La túnica vascular consiste en:

- Iris.
- Cuerpo ciliar.
- Coroides.

Iris

El iris es la porción central coloreada del ojo (figura 14-13), y regula la cantidad de luz que entra en el ojo ajustando el tamaño de la abertura central (la pupila). Está formado por dos capas de células y fibras pigmentadas y dos capas de músculo liso (los músculos pupilares):

- Músculos constrictores pupilares.
- Músculos dilatadores pupilares.

Ambos grupos de músculos son controlados por el sistema nervioso autónomo; la activación del sistema nervioso parasimpático causa la constricción de la pupila en respuesta a la luz intensa. La activación del sistema nervioso simpático induce la dilatación de la pupila en respuesta a luz tenue. En su borde, el iris se une a la parte anterior del cuerpo ciliar.

Cuerpo ciliar

La mayor parte del cuerpo ciliar está formada por el músculo ciliar, un anillo de músculo liso que se proyecta en el interior del ojo. La cubierta epitelial de este músculo tiene muchos pliegues, llamados procesos ciliares. Los ligamentos suspensorios del cristalino se fijan a las puntas de estos procesos.

Coroides

La coroides es una capa vascular que separa las tunicas fibrosa y neural. Está cubierta por la esclerótica y se une a la capa más externa de la retina. La coroides contiene una extensa red de capilares que suministra oxígeno y nutrimentos a la retina.

Túnica neural (retina)

Ésta es la capa más interna del ojo, y consiste de una delgada capa externa llamada parte pigmentada y una capa interna más gruesa que recibe el nombre de parte neural.

- La parte pigmentada de la retina absorbe la luz que pasa por la parte neural; esto impide que la luz rebote y pase de nuevo por la parte neural causando “ecos visuales”.
- La parte neural de la retina contiene receptores de luz y células de soporte, y se encarga del procesamiento preliminar y la integración de información visual.

Organización de la retina

La figura 14-15 muestra los dos tipos de células receptoras contenidas en la capa más externa de la retina (la más cercana a la parte pigmentada). Estas células receptoras son las células que detectan la luz (fotorreceptoras).

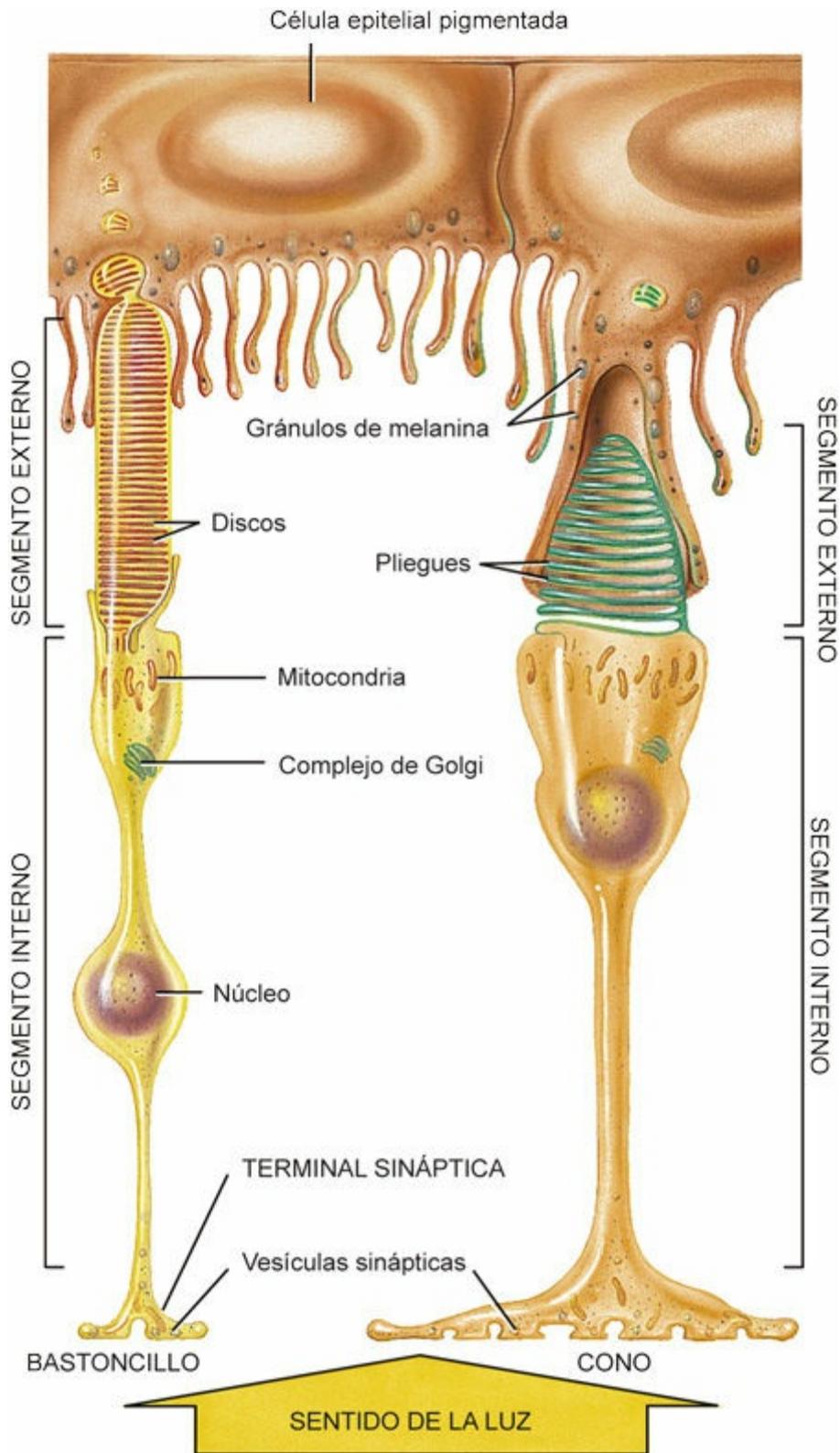


Figura 14-15. Corte transversal de la retina. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Bastoncillos: estos fotorreceptores no discriminan los colores. Son muy sensibles, y permiten ver con luz muy tenue. Los bastoncillos se concentran en una banda alrededor de la periferia de la retina, y esta densidad se reduce hacia el centro del ojo.

- Conos: estos fotorreceptores permiten la visión en color y producen imágenes más nítidas y claras que los bastoncillos, pero requieren luz más intensa. Los conos se localizan principalmente en la mácula lútea, y en particular en su centro, en una zona llamada fovea (figura 14-14).

Las secciones externas alargadas de bastoncillos y conos contienen cientos a miles de discos membranosos aplanados. En los bastoncillos los discos están separados y forman un cilindro. En los conos los discos son pliegues de la membrana plasmática, y el segmento externo se adelgaza en una punta roma.

Hay tres tipos de conos (rojos, azules y verdes), y la discriminación del color se basa en la integración de información recibida de los tres tipos de conos. Por ejemplo, El amarillo es detectado por conos verdes fuertemente estimulados, conos rojos menos fuertemente estimulados y conos azules relativamente no estimulados.

Un pedúnculo conector estrecho une el segmento externo al segmento interno, que es la parte de la célula que contiene todos los organelos celulares habituales. El segmento interno es también la zona donde se establecen sinapsis con otras células y se liberan los neurotransmisores.

Los bastoncillos y conos hacen sinapsis con neuronas llamadas células bipolares, que a su vez hacen sinapsis con una capa de neuronas llamadas células ganglionares. En estas dos zonas de sinapsis hay células relacionadas que pueden estimular o inhibir la comunicación entre las dos células, y por lo tanto modifican la sensibilidad de la retina (por ejemplo, en respuesta a una iluminación muy intensa o tenue).

Los axones de alrededor de 1 millón de células ganglionares convergen en la papila óptica (disco óptico), punto en el cual cambian de dirección y penetran en la pared ocular y se dirigen al diencefalo como el nervio óptico. La arteria y la vena retinianas centrales pasan por el centro del nervio óptico. La papila óptica no contiene fotorreceptores, y por lo tanto esta zona se conoce como punto ciego; sin embargo, el individuo no advierte el punto ciego en su visión porque movimientos oculares involuntarios mantienen en movimiento la imagen visual y de este modo el encéfalo puede proporcionar la información faltante.

Cámaras oculares

El ojo se divide en dos cavidades principales: una cavidad posterior grande y una cavidad anterior, más pequeña. La cavidad anterior se subdivide en la cámara anterior y la cámara posterior (figura 14-14).

- La **cavidad anterior** está llena de una sustancia llamada humor acuoso, que circula entre las cámaras anterior y posterior al pasar a través de la pupila y realizar una función vital como medio de transporte de nutrientes y productos de desecho. La presión hidráulica creada por el humor acuoso en la cavidad anterior ayuda a mantener la forma del ojo. El humor acuoso es producido por las células epiteliales del cuerpo ciliar, y en pocas horas se

drena a través del canal de Schlemm hacia la esclerótica para ser reciclado.

- La **cavidad posterior** es la más grande de las dos cavidades oculares y está llena de una masa gelatinosa conocida como humor vítreo. El humor vítreo ayuda a estabilizar la forma del ojo, ya que de otro modo la actividad de los músculos extraoculares la distorsionaría. A diferencia del humor acuoso, el humor vítreo se crea durante el desarrollo del ojo y nunca se recambia. Una película delgada de humor acuoso infiltra la cámara posterior, bañando la retina, suministrando nutrimentos y eliminando desechos. La presión que genera también ayuda a mantener la parte neural de la retina contra la parte pigmentada; aunque las dos están cerca una de otra, no están fijas entre sí, de modo que se requiere de esa presión externa.

Caso clínico

Uso de gotas oftálmicas

Sara es una anciana de 72 años que acude con su optometrista para solicitarle anteojos nuevos. Durante la evaluación habitual el optometrista detecta el inicio de glaucoma y envía a Sara con el oftalmólogo. El tratamiento del glaucoma de ángulo abierto temprano consiste en gotas oftálmicas, y el médico prescribe prostaglandinas para ayudar a que el humor acuoso fluya desde el ojo y de este modo se reduzca la presión. Hoy día el glaucoma no se cura, y el tratamiento depende del reconocimiento temprano para evitar el daño permanente.

Al paciente que usa gotas oftálmicas se le recomienda:

- Lavarse las manos.
- Asegurarse de que las gotas oftálmicas no hayan caducado.
- Echar la cabeza hacia atrás.
- Usar el dedo para retraer el párpado inferior.
- Sostener el frasco y dejar caer una sola gota en el bolsillo que se forma al retraer el párpado.
- Cerrar el ojo y mantenerlo así por unos pocos minutos.

Aplicación clínica

Tonometría

La medición de la presión intraocular (PIO) es una importante prueba oftalmológica, y recibe el nombre de tonometría. La tonometría es la determinación objetiva de la PIO, y suele basarse en la valoración de la resistencia de la córnea a la indentación (por lo común con un chorro de aire). La PIO normal es de alrededor de 10 a 21 mm Hg. Hay varios tipos de tonómetros disponibles; el tonómetro de aplanamiento mide la cantidad de fuerza necesaria para aplanar parte de la córnea de manera temporal. El tonómetro mide el grado de resistencia opuesta por la córnea a la indentación suave, y lo convierte en una cifra. Una gota de fluoresceína con anestésico constituye un filtro de luz azul. La prueba no provoca daño; el paciente debe mantener los ojos muy abiertos. Si bien la prueba es del todo indolora, muchos pacientes la encuentran muy incómoda.

Puede haber contraindicaciones a esta intervención, como un traumatismo o una úlcera

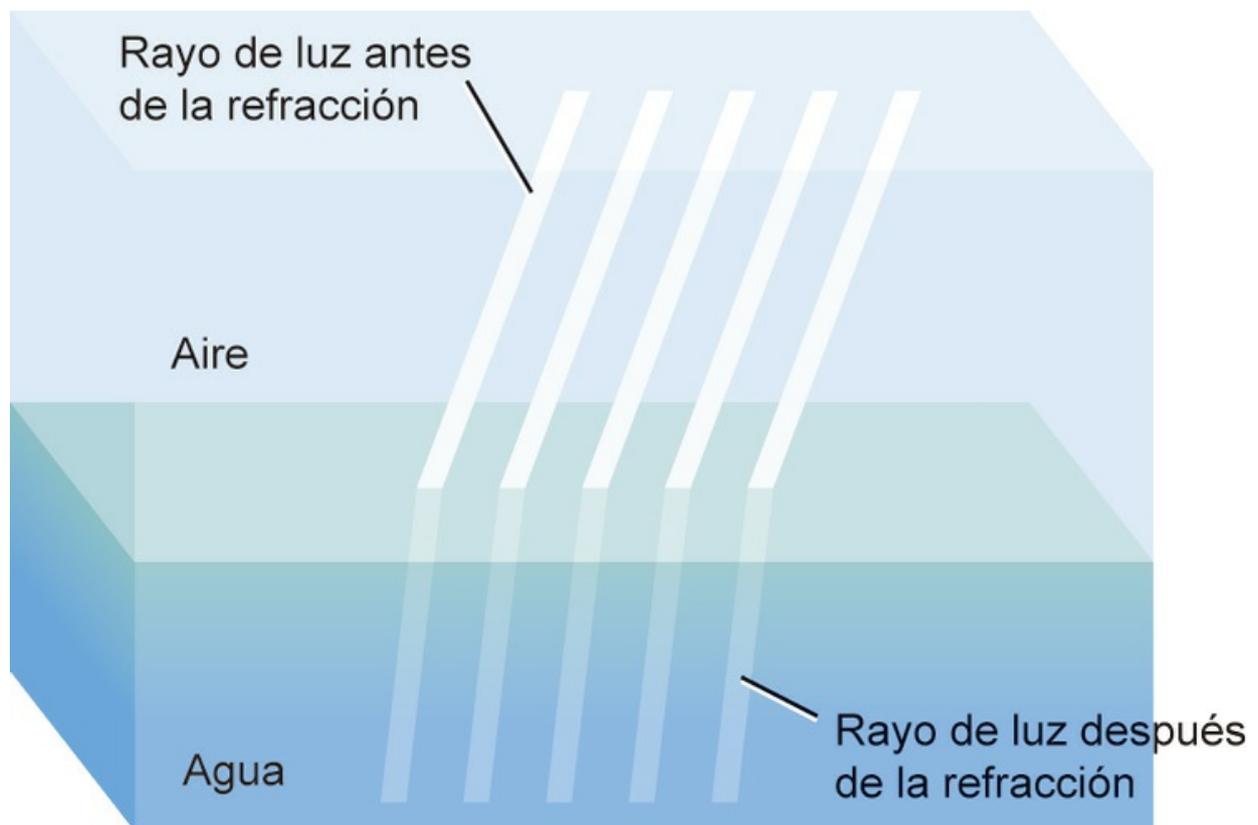
corneal. La medición de la PIO es rápida y simple, y debido a ello se realiza de manera sistemática en todos los adultos que requieren pruebas oculares.

Enfoque de imágenes en la retina

Para que una imagen visual sea útil debe enfocarse en la retina; ésta es la finalidad del cristalino del ojo. Primero, la luz que entra en el ojo es sometida a refracción, y el objetivo proporciona la refracción ajustable adicional requerida para enfocar la imagen en la retina.

Refracción

La luz se refracta (desvía) al pasar de un medio a otro con diferente densidad (figura 14-16).



Refracción de los rayos de luz

Figura 14-16. Refracción de la luz que pasa del aire (menos denso) al agua (más densa). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

En el ojo, la mayor parte de la refracción ocurre cuando la luz entra en la

córnea procedente del aire; hay refracción adicional cuando la luz pasa del humor acuoso al cristalino. El cristalino aporta la refracción extra para enfocar la luz en la retina, y puede ajustar esta refracción a la distancia focal.

La distancia focal es la longitud entre el punto focal (p. ej. en la retina) y el centro del cristalino (figura 14-17). Depende de:

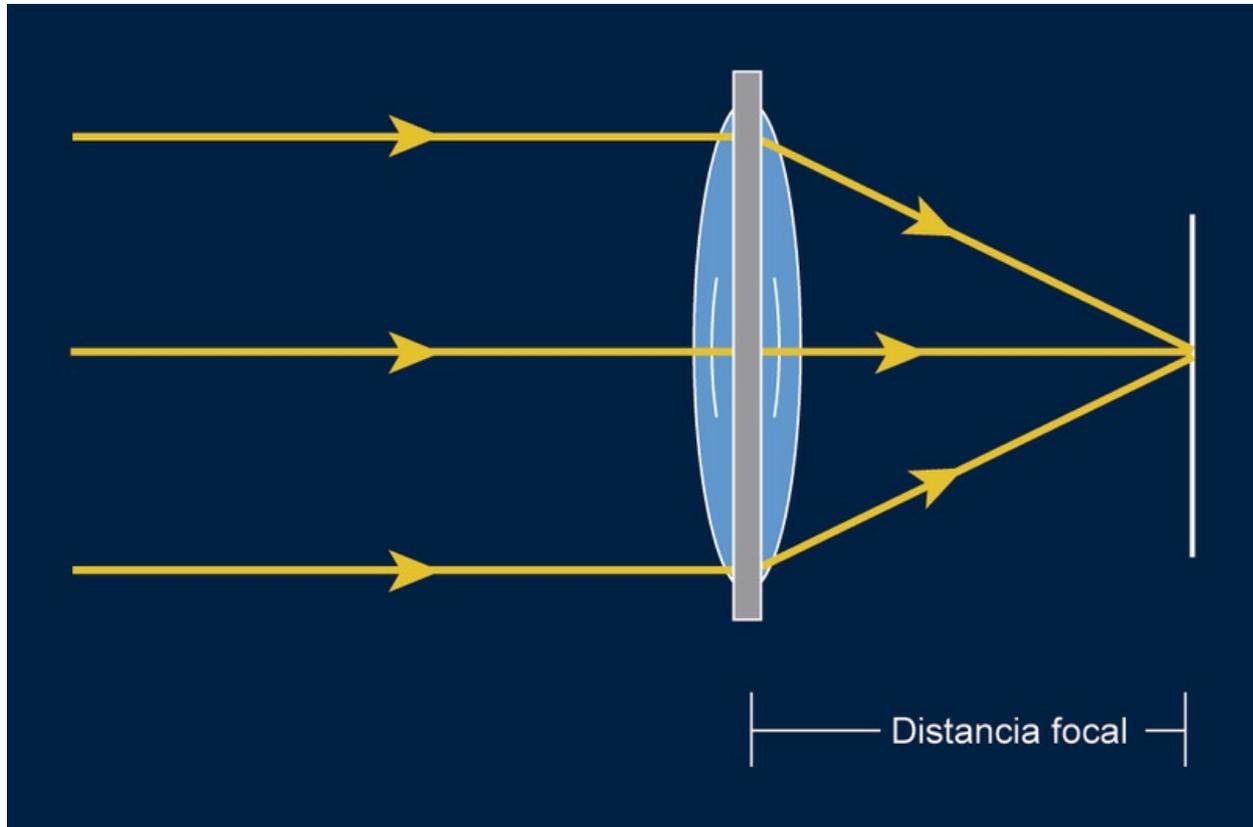
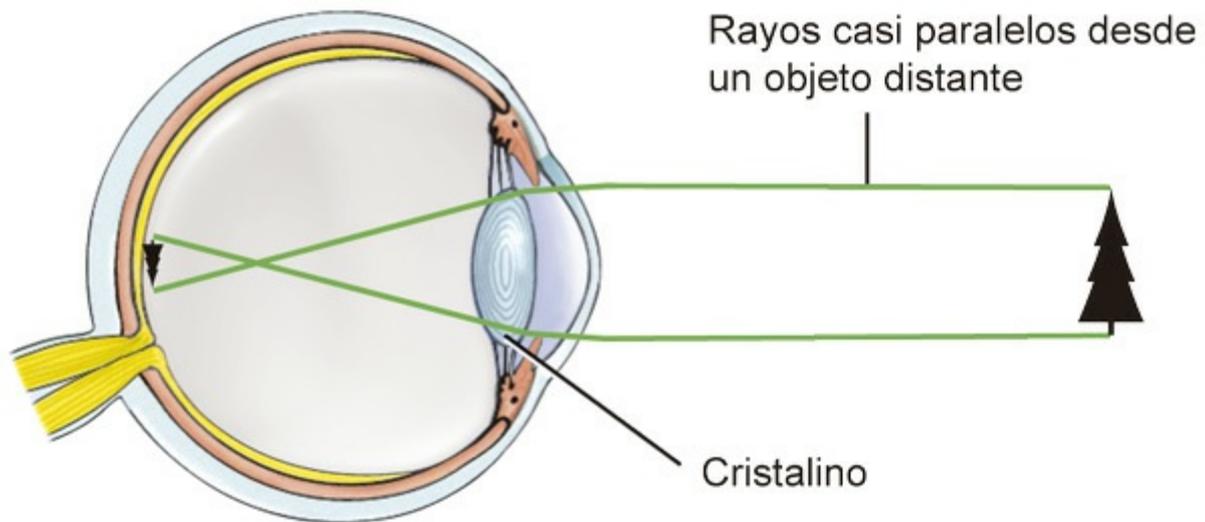


Figura 14-17. Distancia focal.

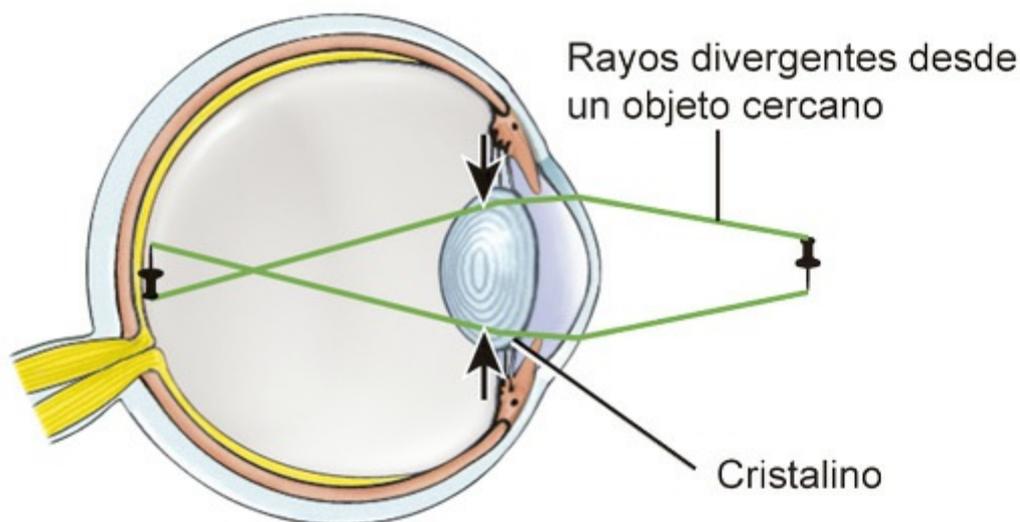
- La distancia del objeto al cristalino. Cuanto más alejado esté el objeto, tanto más corta la distancia focal.
- La forma del cristalino. Cuanto más redondo el cristalino, tanto más refracción ocurre. Un cristalino muy redondo tiene distancia focal más corta que uno más aplanado.

El cristalino se encuentra atrás de la córnea y es mantenido en su lugar por ligamentos unidos al cuerpo ciliar. Consiste en capas concéntricas de células organizadas de manera precisa cubiertas por una cápsula fibrosa. Muchas de las fibras capsulares son elásticas, y si no estuvieran sujetas a fuerzas externas por los ligamentos, el cristalino sería esférico. Dentro del cristalino se encuentran las llamadas fibras del cristalino, células especializadas que han perdido el núcleo y otros organelos. Están llenas de la proteína llamada cristalina, responsable de la transparencia y la capacidad de enfoque del cristalino.

El proceso de cambio de forma del cristalino para enfocar una imagen en la retina se conoce como acomodación. La forma del cristalino se modifica a causa de la tensión que se aplica o relaja en los ligamentos suspensorios a través de músculos lisos del cuerpo ciliar (figura 14-18).



(a) Visión de un objeto distante



(b) Acomodación para un objeto cercano

Figura 14-18. Acomodación para objetos (a) lejanos y (b) cercanos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Miopía, hipermetropía y presbicia

En una persona con miopía (visión corta), el cristalino es incapaz de enfocar la imagen en la retina y la imagen se enfoca adelante (figura 14-19). Las personas con miopía pueden ver objetos cercanos, pero ven borrosos los lejanos. La miopía se corrige con facilidad mediante lentes correctivas, ya sea mediante anteojos o lentes de contacto.

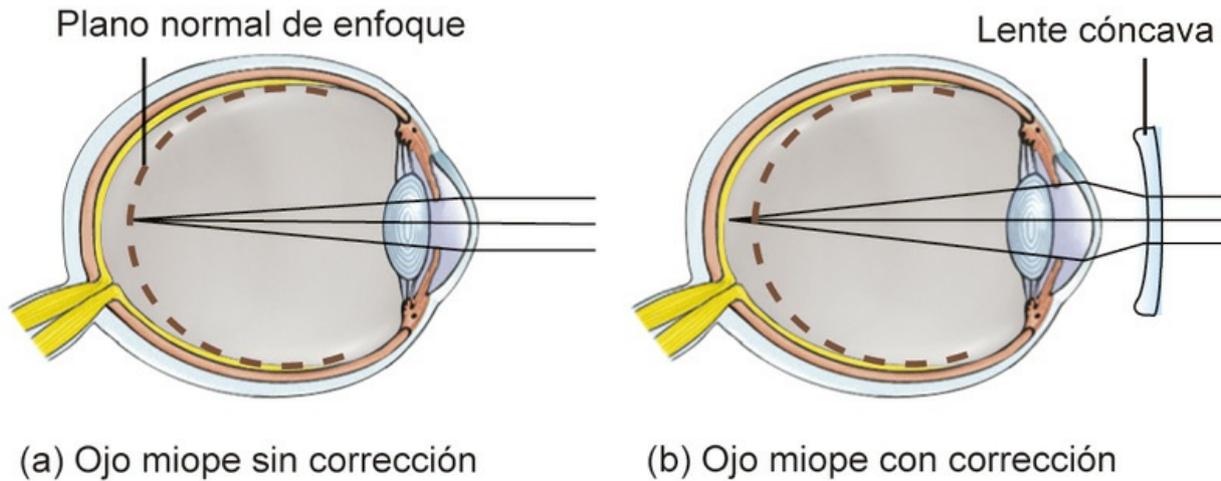


Figura 14-19. (a) Ojo con miopía no corregida y (b) corregida con una lente cóncava. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

En la persona con hipermetropía (visión de lejos), la imagen se enfoca en un punto atrás de la retina (figura 14-20); así, estas personas pueden ver objetos lejanos pero no los cercanos.

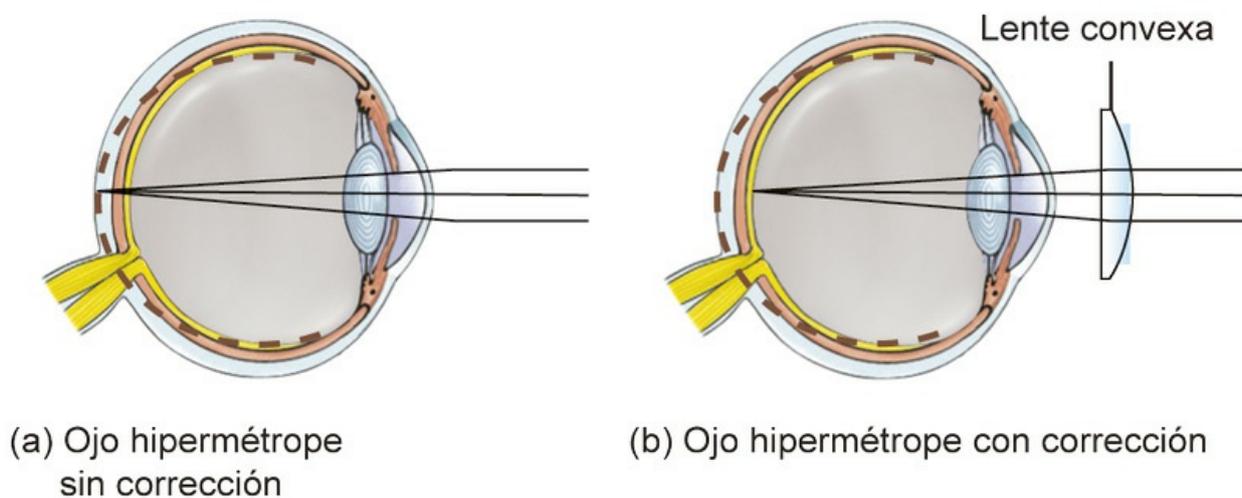


Figura 14-20. (a) Ojo con hipermetropía no corregida y (b) corregida con una lente convexa. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La presbicia es la pérdida de la capacidad para enfocar objetos cercanos a medida que la persona envejece; la teoría más común al respecto es una pérdida de la elasticidad del cristalino. Todo el mundo sufre pérdida de la capacidad de enfocar objetos cercanos, pero a diferente ritmo y con diferentes efectos en la visión. El inicio de la presbicia se advierte más a menudo entre los 40 y 50 años de edad. La presbicia se trata con lentes correctivas (por lo común con los llamados anteojos de lectura, aunque son correctivos para todas las tareas que

requieren visión de cerca).

Consideraciones clínicas

Visión 20/20

El término 20/20 se refiere a una medida de la agudeza visual. Significa que la persona que se examina puede ver a una distancia de 20 pies (6 m) el mismo detalle que una persona con vista normal vería a 20 pies. En otras palabras, la visión 20/20 es una visión normal. Si una persona tiene visión 20/40 sólo es capaz de ver a 20 pies el detalle que una persona con visión normal vería a 40 pies. Una persona con agudeza visual de 20/70 sólo puede ver a 20 pies el detalle que una persona con visión normal vería a 70 pies, etc. La agudeza visual no guarda correlación directa con la prescripción de anteojos, pero los anteojos prescritos tienen el objetivo de lograr una visión 20/20. La agudeza visual se examina usando un cartel de Snellen de tamaño estándar a 20 pies, con brillantez de iluminación estándar.

| | | |
|-------------------|----|--------|
| E | 1 | 20/200 |
| F P | 2 | 20/100 |
| T O Z | 3 | 20/70 |
| L P E D | 4 | 20/50 |
| P E C F D | 5 | 20/40 |
| E D F C Z P | 6 | 20/30 |
| F E L O P Z D | 7 | 20/25 |
| D E F P O T E C | 8 | 20/20 |
| L E F O D P C T | 9 | |
| F D P L T C E O | 10 | |
| F D P T L D P F C | 11 | |

Figura 14-21. Distancia focal.

Procesamiento de la información visual

Las células ganglionares que controlan los bastoncillos de la retina (células M) proporcionan información acerca de forma general de un objeto, movimiento y sombras en luz tenue. Hasta 1 000 bastoncillos pueden dar información a una

célula M. Esta convergencia ocasiona la pérdida de información específica, y la activación de una célula M indica que la luz ha incidido en una zona general y no en un punto específico. Esta pérdida de información específica basada en la localización es compensada en parte por el hecho de que la actividad de las células M varía con el patrón de estimulación en su campo específico (zona de la retina). Así, por ejemplo, una célula M reaccionaría de manera distinta a un estímulo en el borde de su campo receptivo que a uno en su centro.

Los conos muestran muy poca convergencia; por ejemplo, en la fovea la relación de conos a células ganglionares es de 1:1 (Martini and Nath, 2009). Las células ganglionares que controlan conos (células P) son más numerosas que las células M, y dado que hay poca convergencia estas células proporcionan información específica de localización. Como resultado, los conos suministran información más precisa sobre una imagen visual que los bastoncillos.

Procesamiento central de la información visual

Una vez que los axones de las células ganglionares han salido del ojo por la papila óptica pasan al diencéfalo como los nervios ópticos (par craneal II). Los dos nervios ópticos (uno para cada ojo) llegan al diencéfalo en el quiasma óptico. De aquí, la mitad de los nervios van al núcleo geniculado lateral del mismo lado del encéfalo y la otra mitad cruzan y se dirigen al núcleo geniculado lateral del lado opuesto. Desde cada núcleo geniculado lateral, la información visual también viaja a la corteza occipital del hemisferio cerebral del mismo lado. El control involuntario de los ojos (como los reflejos pupilares) se procesa en el diencéfalo y el tallo encefálico.

Conclusión

En este capítulo se exploraron los sentidos:

- Olfacción (olfato), que depende de los receptores olfatorios de la nariz.
- Gusto, que se basa en parte en los receptores gustativos de la lengua, pero también recibe una gran contribución de los receptores olfatorios.
- Equilibrio, que depende de las células ciliadas de los canales semicirculares y el vestíbulo.
- Oído, a cargo de las células ciliadas en el órgano de Corti del caracol del oído interno.
- Vista, que depende de los fotorreceptores del ojo.

Excepto por el olfato, toda la información generada por los sentidos se procesa en el tálamo antes de ser transmitida a los centros superiores del encéfalo. Algunos de los sentidos (olfato y gusto) también envían información directa a otros centros del sistema límbico, como el hipotálamo, y esto es una indicación tanto de su antigüedad en términos evolutivos como del hecho de que determinados olores y sabores pueden evocar respuestas subconscientes, como salivación y emociones.

Glosario

Aferente. Que se dirige hacia un centro (por ejemplo el encéfalo).

Agudeza visual. Visión central detallada.

Ampolla. Extensión en forma de saco de un canal o conducto.

Anterior Situado en el frente de una estructura o relacionado con esa posición.

Anticuerpos. Proteínas presentes en la sangre usadas por el sistema inmunitario para identificar y destruir patógenos.

Articulación sinovial. Articulación de movimiento libre en la cual las superficies óseas están cubiertas por cartílago y conectadas por ligamentos recubiertos por una membrana sinovial. La membrana secreta un líquido lubricante y lo mantiene alrededor de la articulación.

Axón. Extension de una neurona que conduce impulsos.

Bulbo olfatorio. Estructura del encéfalo que interviene en la olfacción, la percepción de los olores.

Bulbo raquídeo. Parte del tallo encefálico que contiene los centros cardíaco y respiratorio.

Cartel de Snellen. Gráfica estandarizada para examinar la agudeza visual.

Cartílago. Tejido conjuntivo de sostén formado por diversas células y fibras.

Cilios. Pequeñas prolongaciones en forma de pelo en la superficie externa de algunas células.

Convergencia. Movimiento de los ojos hacia el centro para ver un objeto cercano a la cara.

Distancia focal. Longitud entre el punto focal (p. ej. en la retina) y el centro del cristalino del ojo.

Eferente. Que se dirige hacia fuera de un centro nervioso.

Endolinfa. Líquido presente en el laberinto membranoso del oído interno.

Enzima. Proteína que acelera una reacción química.

Equilibrio. Capacidad de controlar la postura erguida del cuerpo inmóvil o en movimiento.

Extrínseco No inherente al proceso u objeto; externo.

Fotorreceptor. Neurona que detecta luz.

Fóvea (fóvea central). Pequeña depresión en la retina que contiene conos, y donde es más aguda la visión.

Ganglio. Masa o grupo de neuronas.

Glomérulo. Estructura de la vía olfativa que contiene un grupo de sinapsis.

Gustativo. Relacionado con el sentido del gusto.

Hipermetropía. Visión de lejos.

Hueso etmoides. Hueso del cráneo que separa la cavidad nasal del encéfalo.

Iris. Porción central coloreada del ojo.

Lagrimal. Relativo a las lágrimas.

Lateral. Alejado de la línea media del cuerpo (a la izquierda o la derecha).

Ligamento. Tejido fibroso que une articulaciones entre sí y conecta huesos y cartílago.

Lípidos. Grupo de compuestos orgánicos que incluye grasas, aceites, ceras,

esteroles y triglicéridos.

Medial. Hacia la línea media del cuerpo.

Microvellosidades. Protrusiones de la membrana celular que incrementan su área superficial.

Miopía. Vista corta.

Músculos constrictores pupilares. Músculos lisos dentro del iris del ojo; cuando son estimulados constriñen la pupila.

Músculos dilatadores pupilares. Músculos lisos dentro del iris del ojo; cuando son estimulados dilatan la pupila.

Nasofaringe. Parte de las vías respiratorias que comienza en la nariz y termina en el paladar blando.

Neurona Célula nerviosa.

Olfacción. Sentido del olfato.

Olfativo/olfatorio. Relativo al sentido del olfato.

Papila. Pequeña proyección en forma de pezón.

Patógeno. Agente infeccioso que causa enfermedad (p. ej., bacteria o virus).

Perilinf. Líquido claro localizado entre el laberinto óseo y el laberinto membranoso en el oído interno.

Posterior. Localizado en la parte trasera de una estructura o relacionado con esa posición.

Presbicia. Pérdida de la capacidad de enfocar objetos cercanos a medida que la persona envejece.

Puente de Varolio. Parte del tallo encefálico; contiene centros que intervienen en el sueño, deglución, audición, equilibrio, gusto, movimiento ocular y muchas otras funciones.

Pupila. Abertura en el centro del iris del ojo que permite la entrada de luz.

Reflejo Actividad (p. ej. movimiento) involuntaria en respuesta a un estímulo.

Refracción Cambio de dirección de la luz al pasar de un medio a otro con diferente densidad.

Sinapsis. Espacio entre dos neuronas o una neurona y un órgano a través del cual los neurotransmisores se difunden para transmitir un impulso nervioso.

Sistema límbico. Grupo de estructuras/centros en el encéfalo relacionadas con diversas emociones y sentimientos, como la ira, temor, tristeza y placer.

Sistema nervioso autónomo. Parte del sistema nervioso que controla funciones involuntarias, constituido por los sistemas nerviosos parasimpático y simpático.

Sistema nervioso parasimpático. Parte del sistema nervioso autónomo.

Sistema nervioso simpático. Parte del sistema nervioso autónomo.

Tálamo. Par de estructuras en el encéfalo que reenvían mensajes de la mayoría de los sentidos.

Tejido conjuntivo. Tejido que sostiene y fija otros tejidos corporales.

Transparente. Claro, que permite ver a través de él.

Umami. “Quinto sabor”, relacionado con las proteínas de carne y pescado.

Bibliografía

- Haehner, A., Hummel, T. and Reichmann, H. (2011) Olfactory loss in Parkinson's disease. *Parkinson's Disease* **2011**: 450939. doi:10.4061/2011/450939.
- Haehner, A., Tosch, C., Wolz, M., Klingelhofer, L., Fauser, M., Storch, A., Reichman, H. and Hummel, T. (2013) Olfactory training in patients with Parkinson's disease. *PLoS ONE* **8**(4), e61680.
- Jenkins, G.W. and Tortora, G.J. (2013) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*, 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. Inc.
- Martini, F.H. and Nath, J.L. (2009) *Fundamentals of Anatomy and Physiology*, 8th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- National Institute for Health and Care Excellence (2015) *Corticosteroids – Topical (Skin), Nose, and Eyes*. <http://cks.nice.org.uk/corticosteroids-topical-skin-nose-and-eyes#!scenario:1> (accessed 1 December 2015).
- Neuland, C., Bitter, T., Marschner, H., Gudziol, H. and Guntinas-Lichius, O. (2011) Health-related and specific olfaction-related quality of life in patients with chronic functional anosmia or severe hyposmia. *The Laryngoscope* **121**(4): 867–872.
- NHS Choices (2015) *Anosmia*. <http://www.nhs.uk/Conditions/anosmia/Pages/Introduction.aspx> (accessed 2 December 2015).
- Osawa, Y. (2012) Glutamate perception, soup stock, and the concept of umami: the ethnography, food ecology, and history of dashi in Japan. *Ecology of Food and Nutrition* **51**(4): 329–345.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2012) *Principles of Anatomy and Physiology*, 13th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Lecturas adicionales

Royal National Institute of Blind People (RNIB)

<http://www.rnib.org.uk/>

El RNIB es un organismo sin fines de lucro con base en el Reino Unido que ofrece información, apoyo y orientación a personas con pérdida visual. Su página es una fuente útil de información, con secciones sobre afecciones oculares, pruebas y afrontamiento de la pérdida visual.

National Institute on Deafness and Other

Communication Disorders

<http://www.nidcd.nih.gov/health/Pages/Default.aspx>

Útil página mantenida por los National Institutes of Health de Estados Unidos, que detalla diversos trastornos de oído y boca, como afecciones del gusto, problemas de equilibrio y enfermedades del oído.

ENT UK

<https://entuk.org/>

Sitio de red de la British Association of Otorhinolaryngologists and the British Academic Conference en Otolaryngology. Este grupo tiene entre sus objetivos promover la atención, impartir formación profesional e informar al público. El sitio tiene información útil sobre diversas afecciones de oído y nariz.

eyeSmart

<http://www.geteyesmart.org/eyesmart/index.cfm>

Ésta es una página creada y mantenida por la American Association of Ophthalmology. Contiene útiles secciones sobre trastornos oculares, sus síntomas y recomendaciones sobre modo de vida relacionadas con la salud ocular.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Qué porcentaje del aire inhalado pasa por los órganos olfatorios?
 - (a) 2%.
 - (b) 4%.
 - (c) 5%.
 - (d) 10%.
2. ¿Cuál es la función de la trompa de Eustaquio?
 - (a) Ecularizar la presión entre el oído externo y la nasofaringe.
 - (b) Ecularizar la presión entre el oído interno y la nasofaringe.
 - (c) Ecularizar la presión entre el oído medio y la nasofaringe.
 - (d) Ecularizar la presión entre el oído interno y el oído medio.
3. El utrículo y el sáculo del oído son estimulados por:
 - (a) Gravedad.
 - (b) Aceleración lineal.
 - (c) Rotación de la cabeza.
 - (d) Aceleración vertical.
4. El órgano de Corti se encuentra en el:
 - (a) Conducto vestibulococlear.
 - (b) Conducto timpánico.
 - (c) Conducto vestibular.
 - (d) Conducto coclear.
5. La información sobre volumen y tono de un sonido es transmitida al encéfalo por una rama del par craneal
 - (a) VI.
 - (b) VIII.
 - (c) IX.
 - (d) X.
6. Los párpados consisten en:
 - (a) Cartílago elástico.
 - (b) Tejido conjuntivo.
 - (c) Tejido muscular.
 - (d) Tejido epitelial.
7. La parte coloreada del ojo se conoce como:
 - (a) Úvea.
 - (b) Córnea.
 - (c) Iris.
 - (d) Cuerpo coroideo.
8. Los fotorreceptores se encuentran en:
 - (a) Túnica fibrosa.
 - (b) Parte neural de la túnica neural.
 - (c) Túnica vascular.
 - (d) Parte pigmentada de la túnica neural.
9. Los bastoncillos se encuentran sobre todo en la siguiente parte de la retina:

- (a) Centro.
 - (b) Periferia.
 - (c) Papila óptica.
 - (d) Fóvea.
10. En el ojo, la mayor parte de la refracción de la luz ocurre:
- (a) Cuando la luz entra en el cristalino.
 - (b) Cuando la luz entra en la pupila.
 - (c) Cuando la luz entra en la cavidad posterior.
 - (d) Cuando la luz entra en la córnea.

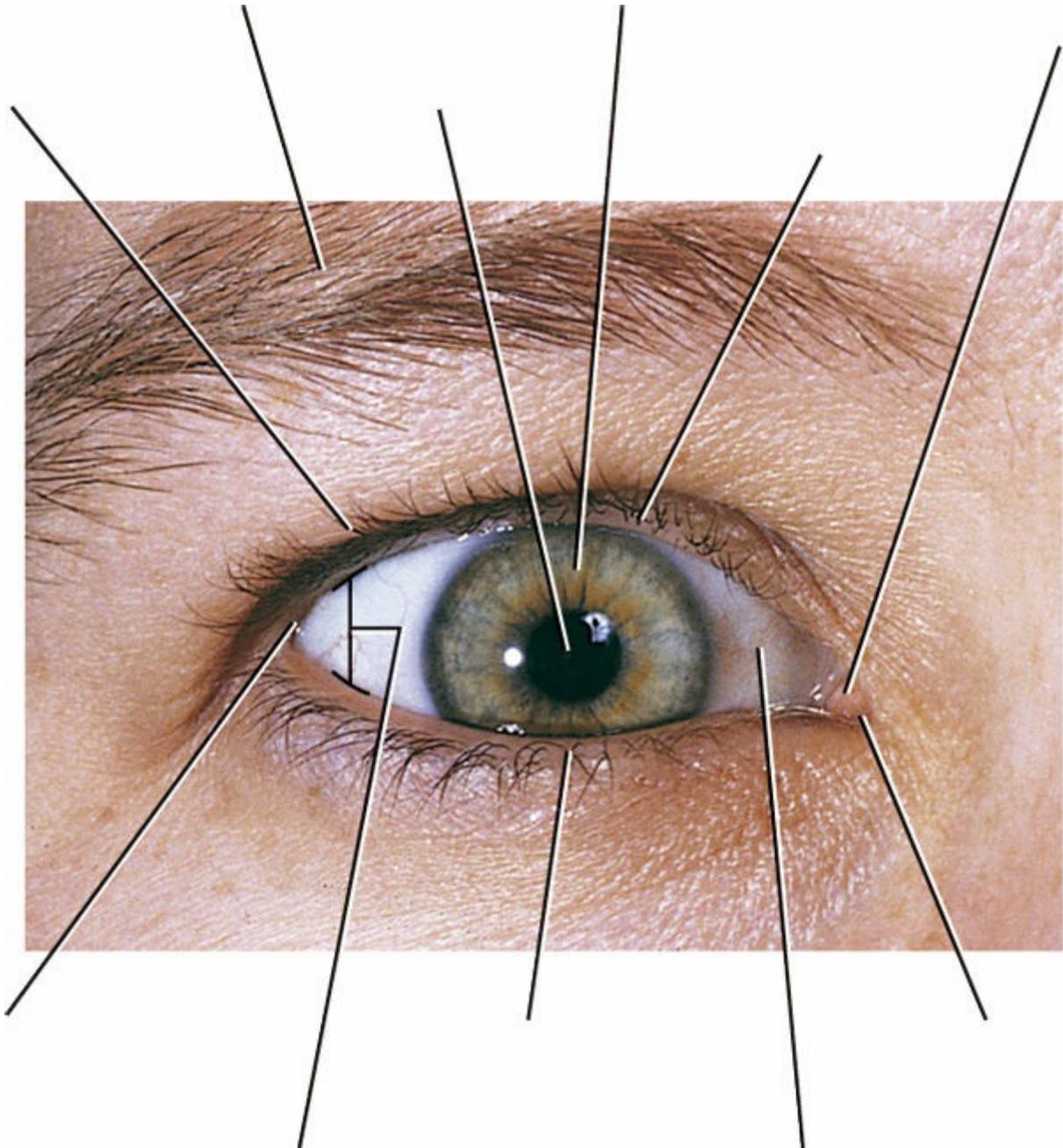
Falso o verdadero

1. Los receptores olfatorios son quimiorreceptores directos.
2. Hay cinco sabores básicos.
3. Las papilas gustativas mueren si pierden sus conexiones nerviosas aferentes.
4. El cerumen normalmente es claro, pero adquiere color de los residuos que capta.
5. El estribo está unido a la ventana redonda.
6. Los conductos semicirculares proporcionan información cuando el cuerpo se mueve o está estacionario.
7. Las lágrimas drenan hacia la cavidad nasal.
8. Las lágrimas no tienen función antibacteriana, simplemente arrastran consigo las bacterias.
9. Hay tres tipos de conos en el ojo.
10. El blanco del ojo se conoce como esclerótica.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

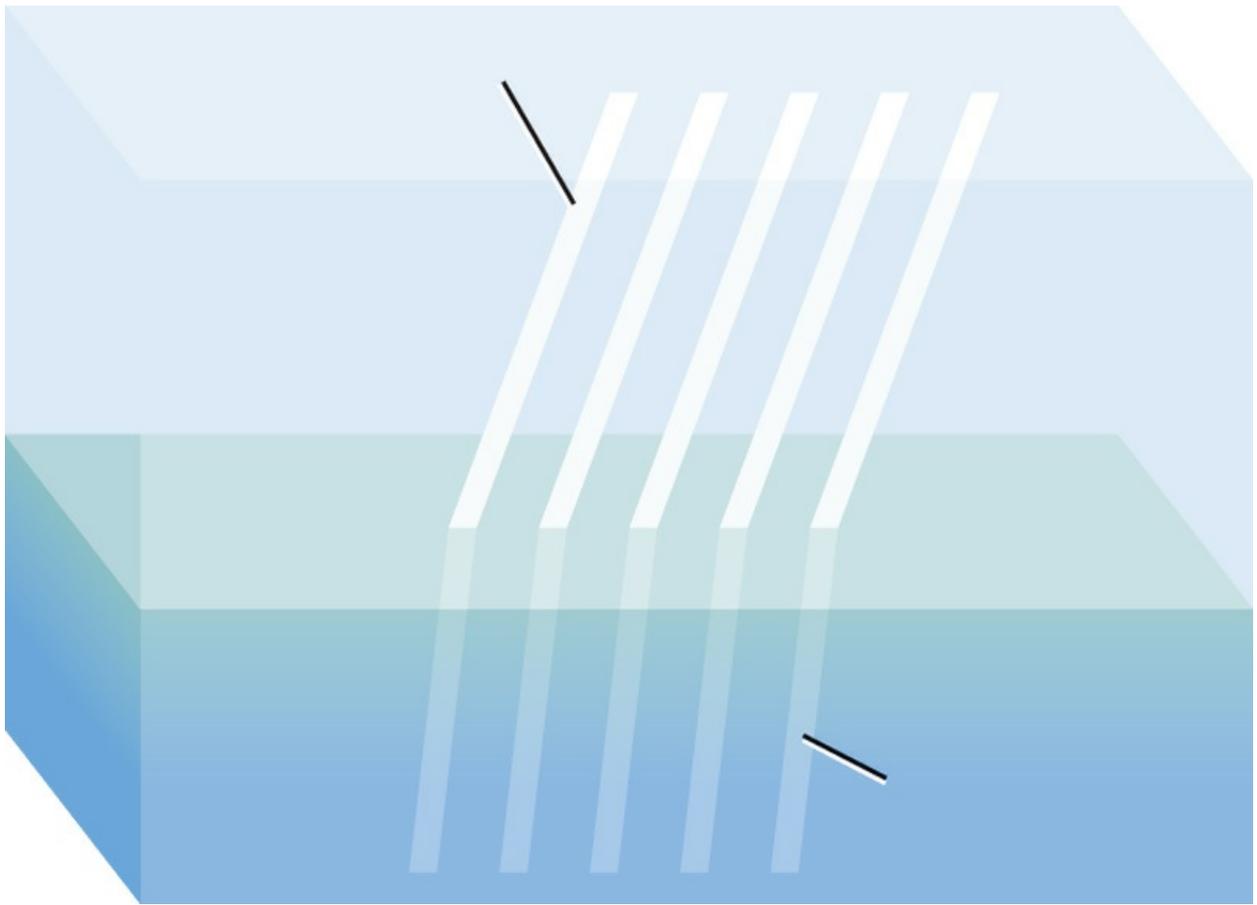
Pestaña, Ceja, Pupila, Iris, Párpado superior, Carúncula lagrimal, Comisura lateral, Fisura palpebral, Párpado inferior, Conjuntiva (sobre la esclerótica), Comisura medial



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Rayo de luz antes de la refracción, Aire, Agua, Rayo de luz después de la refracción

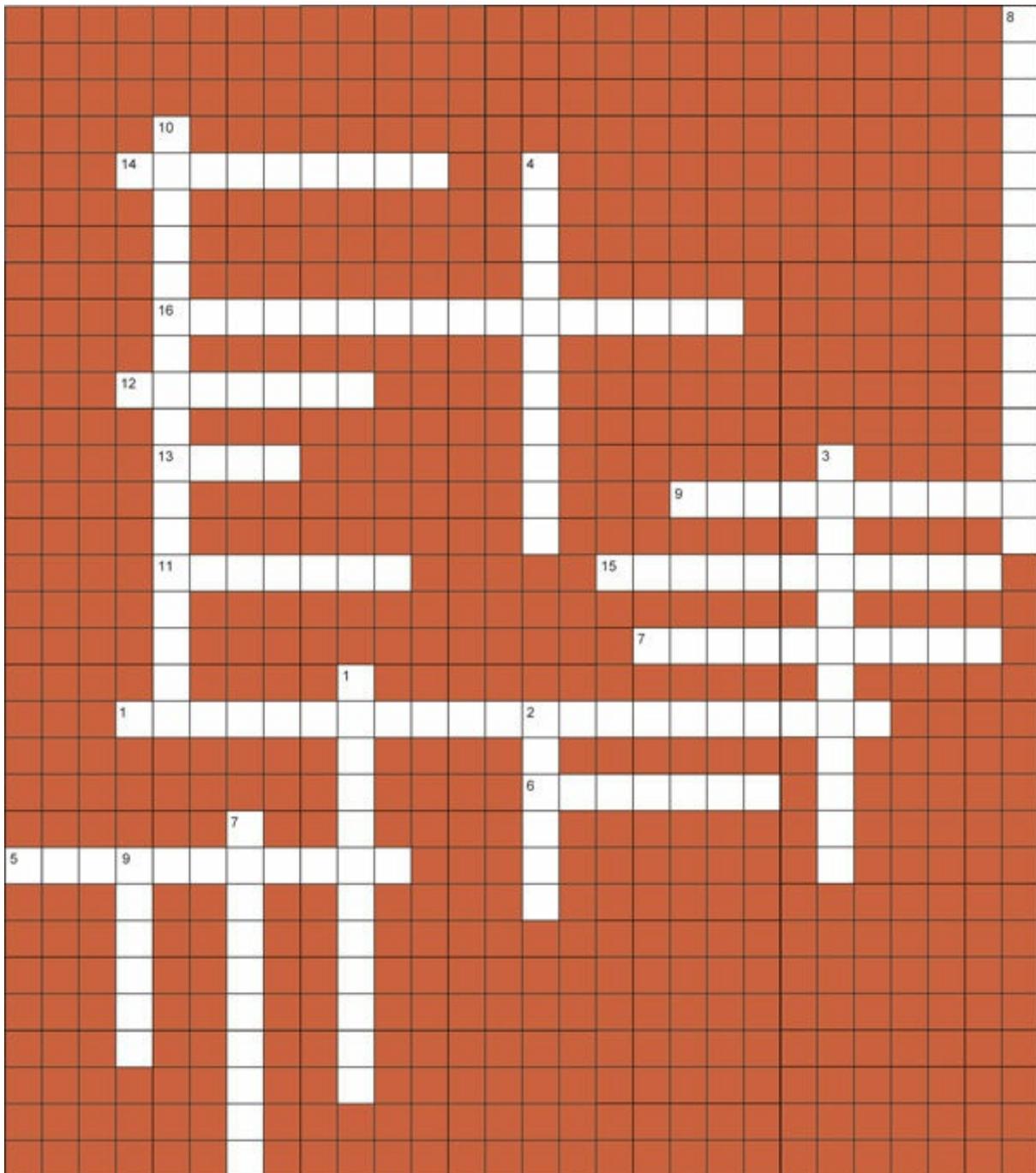


Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| L | K | N | Y | N | Z | A | F | O | T | O | R | R | E | C | E | P | T | O | R |
| S | A | C | U | L | O | M | G | N | T | G | J | X | E | O | R | O | L | P | O |
| S | A | G | C | U | L | E | W | H | R | Q | L | K | W | C | N | V | D | T | S |
| C | Y | V | R | Z | O | R | X | L | I | U | A | P | G | H | B | H | L | I | A |
| A | V | B | O | I | N | O | C | O | T | A | T | S | E | L | Y | J | E | C | N |
| Q | H | K | T | E | M | P | S | A | B | O | D | O | R | I | F | E | R | O | O |
| M | U | Q | O | S | T | A | P | E | S | X | S | J | S | A | T | M | V | N | S |
| L | A | I | L | C | N | D | L | A | O | A | H | R | I | B | I | G | O | R | M |
| G | I | M | M | E | S | C | L | E | R | O | T | I | C | A | A | N | T | J | I |
| V | B | O | Q | I | S | H | I | S | N | T | K | G | I | A | V | T | I | I | A |
| N | R | I | Y | R | O | K | Y | P | P | A | P | I | L | A | S | E | M | D | I |
| F | O | L | I | A | R | R | N | E | O | W | C | K | L | K | I | Q | P | O | L |
| O | B | E | P | U | O | N | R | O | O | R | O | I | D | I | A | D | A | I | P |
| V | M | T | U | D | T | E | B | E | B | W | S | N | R | N | C | F | N | L | A |
| E | A | I | F | W | R | I | P | O | C | X | E | O | L | M | J | K | I | I | B |
| A | H | P | W | O | R | I | D | L | G | E | L | O | C | A | R | A | C | C | F |
| O | G | E | M | T | O | J | K | I | N | O | P | I | L | R | U | M | O | O | V |
| S | T | E | S | T | P | Z | E | J | H | B | J | T | A | D | B | E | L | N | B |
| N | H | E | E | M | R | O | F | I | B | I | R | C | O | Q | G | M | Q | I | T |
| C | I | L | I | O | S | S | E | D | I | O | R | O | C | R | I | T | X | C | T |

Anosmia, Cribiforme, Lagrimal, Sáculo, Quimiorreceptor, Epitelio, Olorífero, Esclerótica, Coroides, Foliar, Óptico, Estribo, Cilios, Fóvea, Papilas, Estatoconio, Caracol, Cinocilio, Fotorreceptor, Timpánico

Crucigrama



Horizontales:

1. Estructuras del oído interno que contienen los conductos que reaccionan al movimiento rotacional de la cabeza (7, 14).
5. Huesos del oído medio (11).
6. El más interno de los huesecillos del oído (7).
7. Estructura de enfoque ajustable del ojo (10).
9. Capa de células epiteliales que recubre la superficie externa del ojo (10).
11. Estructura del oído interno que contiene coclea (7).
12. Cámara ósea en espiral del oído interno (7).
13. Parte central coloreada del ojo (4).
14. Líquido claro localizado entre el laberinto óseo y el laberinto membranoso (9).

15. Sustancia gelatinosa presente en la cavidad posterior del ojo (5, 6).
16. Percepción disminuida de un olor persistente (10, 7).

Verticales:

1. Cristales de carbonato de calcio situados en el utrículo y sáculo (12).
2. Zona de la pared de la ampolla del oído interno que contiene los receptores (6).
3. Retina (6, 5).
4. “Blanco” del ojo (11).
7. Tejidos fibrosos que unen articulaciones (10).
8. Más grandes de las estructuras en forma de clavija que contienen papilas gustativas, presentes en la parte posterior de la lengua (7, 8).
9. Parte del ojo donde ocurre la mayor parte de la refracción de la luz (6).
10. Delgada membrana translúcida del oído medio (8, 9).

Llene los espacios

Las ondas sónicas que entran en el conducto _____ externo viajan hasta llegar a la membrana timpánica (_____), una delgada membrana translúcida de tejido _____ cubierta por piel en su superficie _____ e internamente por _____, y con forma de un cono aplanado que protruye en el oído medio. Las _____ sónicas que llegan a la _____ timpánica la hacen _____, y esta vibración se transmite a los huesecillos del oído medio.

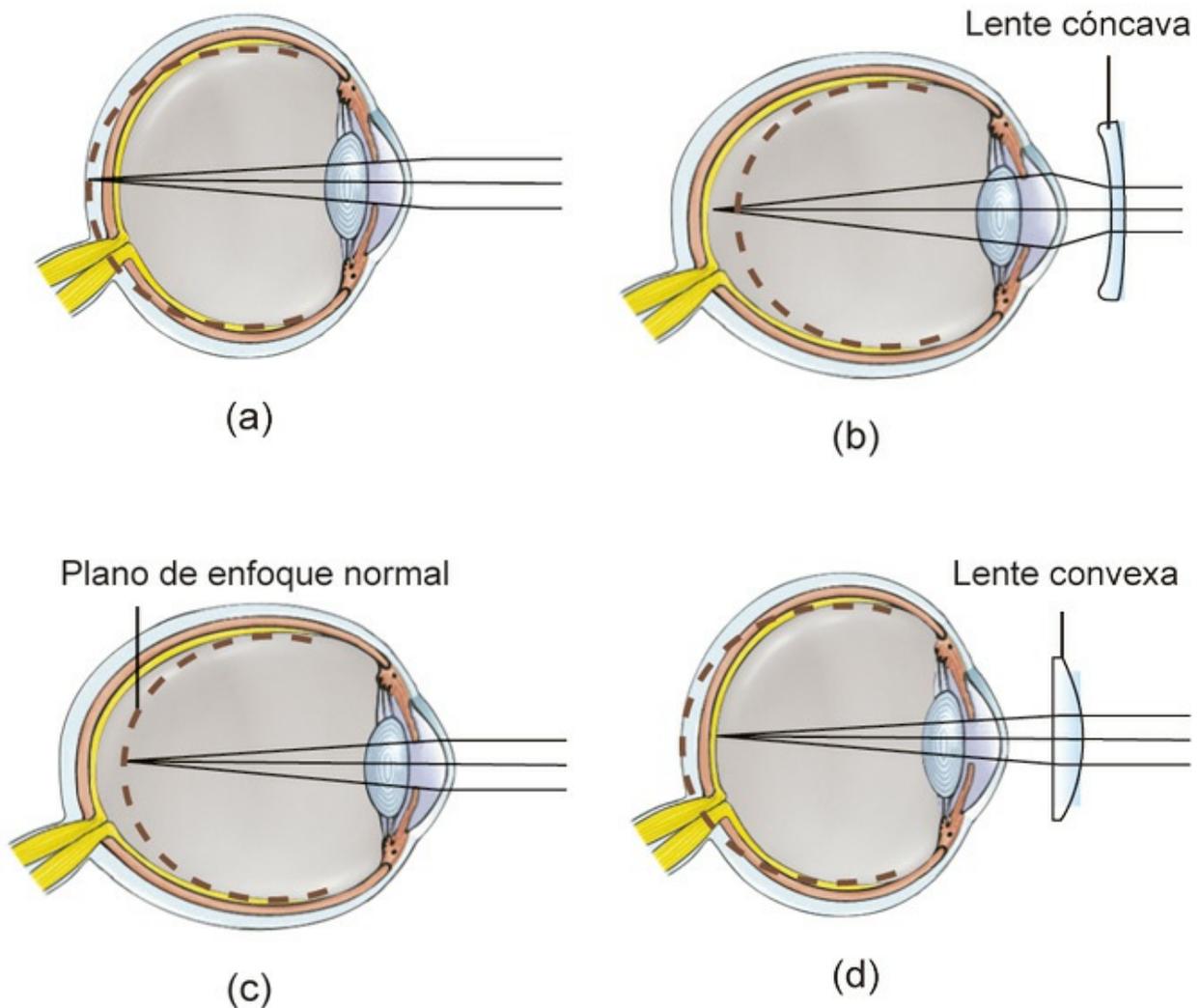
membrana, tímpano, conjuntivo, ondas, externa, vibrar, mucosa, auditivo

Para profundizar

1. ¿Qué implica la intervención quirúrgica llamada rinoplastia?
2. Comente el procedimiento del lavado de oído.
3. ¿Qué debe recomendarse a una persona que está experimentando epistaxis?
4. ¿Cuál es la función de la enfermera al ayudar a detener una epistaxis?
5. ¿Cómo puede la enfermera asegurar que la persona con problemas de audición mantenga un ambiente seguro?
6. Delinee las barreras que pueden encontrarse al realizar una valoración de las necesidades de una persona.
7. ¿Cómo puede la enfermera ayudar a reducir la pérdida de la audición en el lugar de trabajo?
8. Describa cómo puede la pérdida del sentido del olfato afectar la salud y el bienestar de la persona.
9. Enumere los problemas que puede enfrentar una persona con un tapón nasal.
10. Analice los servicios y sistemas de apoyo disponibles para personas invidentes.

Observe los diagramas

1. ¿Cuál corresponde a un ojo con miopía?
2. ¿Cuál corresponde a un ojo con miopía corregida (por una lente)?
3. ¿Cuál corresponde a un ojo con hipermetropía?
4. ¿Cuál corresponde a un ojo con hipermetropía corregida (con una lente)?



Ponga a prueba su aprendizaje

1. Nombre los cinco sabores básicos.
2. Nombre los tres tipos de papilas que contienen papilas gustativas.
3. Describa el mecanismo que detecta gravedad y aceleración lineal.

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con los sentidos. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Anosmia

Ageusia

Enfermedad de Ménière

Otosclerosis

Tinnitus

Glaucoma

Degeneración macular

Desprendimiento de retina

Cataratas

Retinopatía



Capítulo 15

Sistema endocrino

Carl Clare

Ponga a prueba sus conocimientos previos

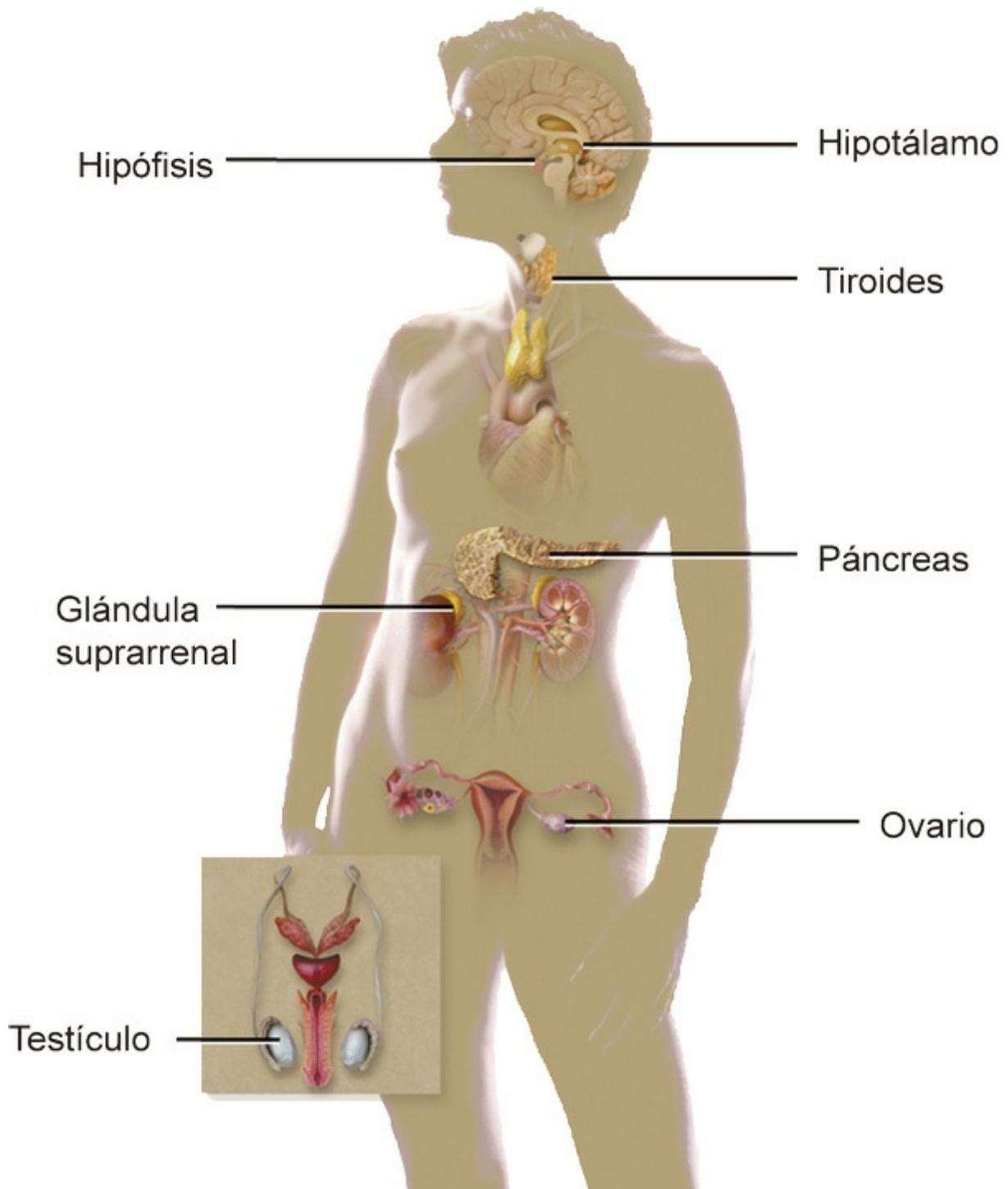
- ¿Cómo se transportan las hormonas en el organismo?
- ¿Qué se entiende por vida media de una hormona?
- Nombre una hormona liberada por la hipófisis
- ¿En qué parte del cuerpo se encuentra la glándula tiroides?
- ¿Cuál es el estímulo para la liberación de insulina?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Nombrar las glándulas endocrinas del cuerpo y las hormonas que secretan
- Comentar las diferentes formas de estímulos para la liberación de hormonas
- Explicar el control de la liberación de hormonas por el hipotálamo
- Analizar las reacciones hormonales al estrés
- Explicar la función de la insulina y el glucagón en el control de la glucemia

Mapa del cuerpo



Introducción

La homeostasis (del griego *homoios*, ‘similar’; e *histēmi*, ‘permanecer quieto’) se refiere al proceso de mantener un ambiente interno estable. En otras palabras, la homeostasis se refiere al mantenimiento del equilibrio fisiológico y el funcionamiento normal del organismo. Hay dos principales sistemas encargados de mantener la homeostasis: el sistema nervioso y el sistema endocrino. En el cuadro 15-1 se muestran las diferencias entre estos dos sistemas.

Cuadro 15-1. Sistema nervioso y sistema endocrino

| | Sistema nervioso | Sistema endocrino |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------------------|
| Rapidez de acción | Segundos | Minutos a horas (incluso días) |
| Duración de la acción | Segundos a minutos | Minutos a días |
| Método de transmisión de mensajes | Eléctrico | Químico |
| Método de transporte | Neuronas | Hormonas |

El sistema nervioso reacciona con rapidez a los estímulos y realiza cambios en un periodo de segundos o minutos; así, interviene en el mantenimiento inmediato y a corto plazo de la homeostasis. Debido a su rápido inicio de acción, el sistema nervioso se encarga del control de procesos corporales rápidos como la respiración y el movimiento. El sistema endocrino a menudo es responsable de la regulación de procesos a más largo plazo. Las principales funciones que coordina son:

- Homeostasis: mantiene el equilibrio y el ambiente interno del organismo.
- Almacenamiento y utilización de sustratos energéticos (carbohidratos, proteínas y grasas).
- Regulación del crecimiento y reproducción.
- Control de las respuestas del organismo a los estímulos externos (en particular al estrés).

Sin embargo, debe hacerse notar que si bien estos dos sistemas están separados, a menudo actúan juntos y se complementan en el mantenimiento de la homeostasis.

El sistema endocrino está formado por un grupo de pequeños órganos dispersos por todo el cuerpo, cada uno de los cuales libera hormonas en la sangre (‘endo’ = dentro, ‘crino’ = secretar). Estos órganos liberadores de hormonas pueden dividirse en tres categorías principales (Jenkins *et al.*, 2007).

- Glándulas endocrinas: órganos cuya única función es producir y liberar

hormonas. Entre ellas se incluyen:

- Hipófisis.
- Tiroides.
- Paratiroides.
- Glándula suprarrenal.
- Órganos que no son sólo glándulas (ya que tienen otras funciones además de la producción de hormonas) pero que contienen zonas relativamente grandes de tejido productor de hormonas. Son ejemplos:
 - Hipotálamo.
 - Páncreas.
- Otros tejidos y órganos que también producen hormonas: hay zonas de células productoras de hormonas en la pared del intestino delgado y el estómago.

No hay un tipo de célula, órgano o proceso que no sea influenciado por el sistema endocrino de alguna manera, y aunque hay muchas hormonas conocidas, quizá existen muchas más aún por descubrir.

Órganos endocrinos

En la figura 15-1 se muestran los órganos endocrinos y su posición en el organismo. Cada uno de estos órganos de manera característica tiene un abundante riego sanguíneo, suministrado por numerosos vasos sanguíneos. En el órgano, las células productoras de hormonas están dispuestas en redes ramificadas alrededor de este suministro. Tal disposición de vasos sanguíneos y células productoras de hormona asegura que las hormonas pasen al torrente sanguíneo con rapidez y sean transportadas por todo el cuerpo hasta las células objetivo (figura 15-2).

Endocrino, paracrino, exocrino y autocrino

Equilibrio hidroelectrolíticos

En anatomía y fisiología, muchas palabras tienen terminación similar, y se usan para los mismos procesos o zonas del cuerpo (figura 15-3). Es importante tenerlas presentes, ya que puede haber confusiones.

Endocrino suele referirse a hormonas que se secretan en la sangre y actúan en células distantes a las que liberaron la hormona. Sin embargo, se sabe que muchas hormonas endocrinas actúan localmente e incluso en las células mismas que las secretan.

Paracrino se refiere a hormonas que actúan localmente y se difunden a las células en la vecindad inmediata para ejercer su efecto.

Autocrino alude a hormonas que actúan en las células que las producen.

Exocrino hace referencia a glándulas u órganos que secretan sustancias en conductos que finalmente llevan al exterior del cuerpo (p. ej. las glándulas sudoríparas, la parte del páncreas que secreta jugos digestivos, o la vesícula biliar).



Glándulas paratiroides (atrás de la glándula tiroides)

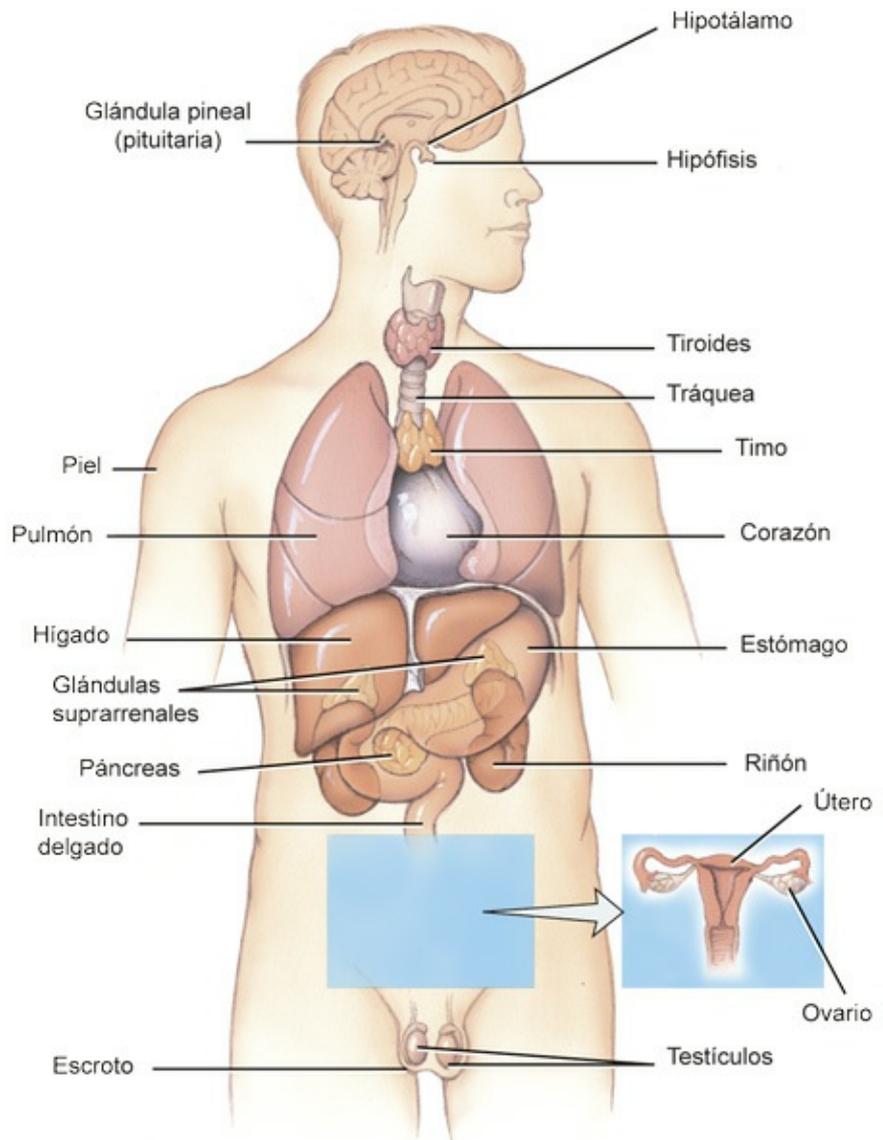


Figura 15-1. Localización de los órganos endocrinos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

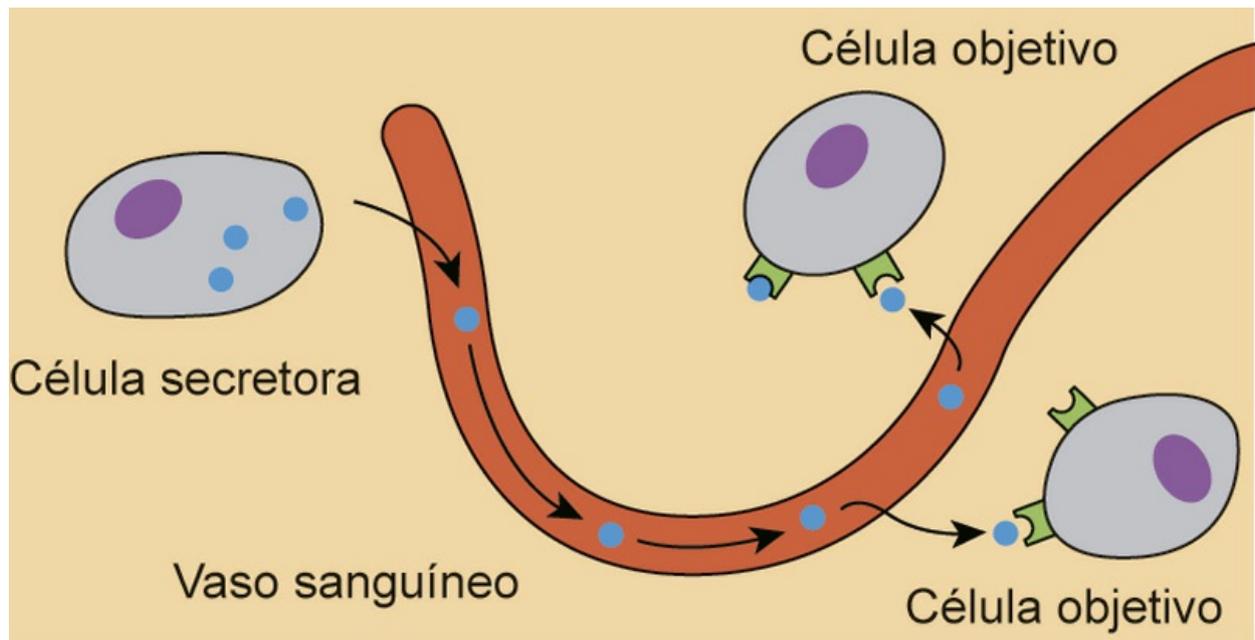


Figura 15-2. Transporte de hormonas en la sangre.

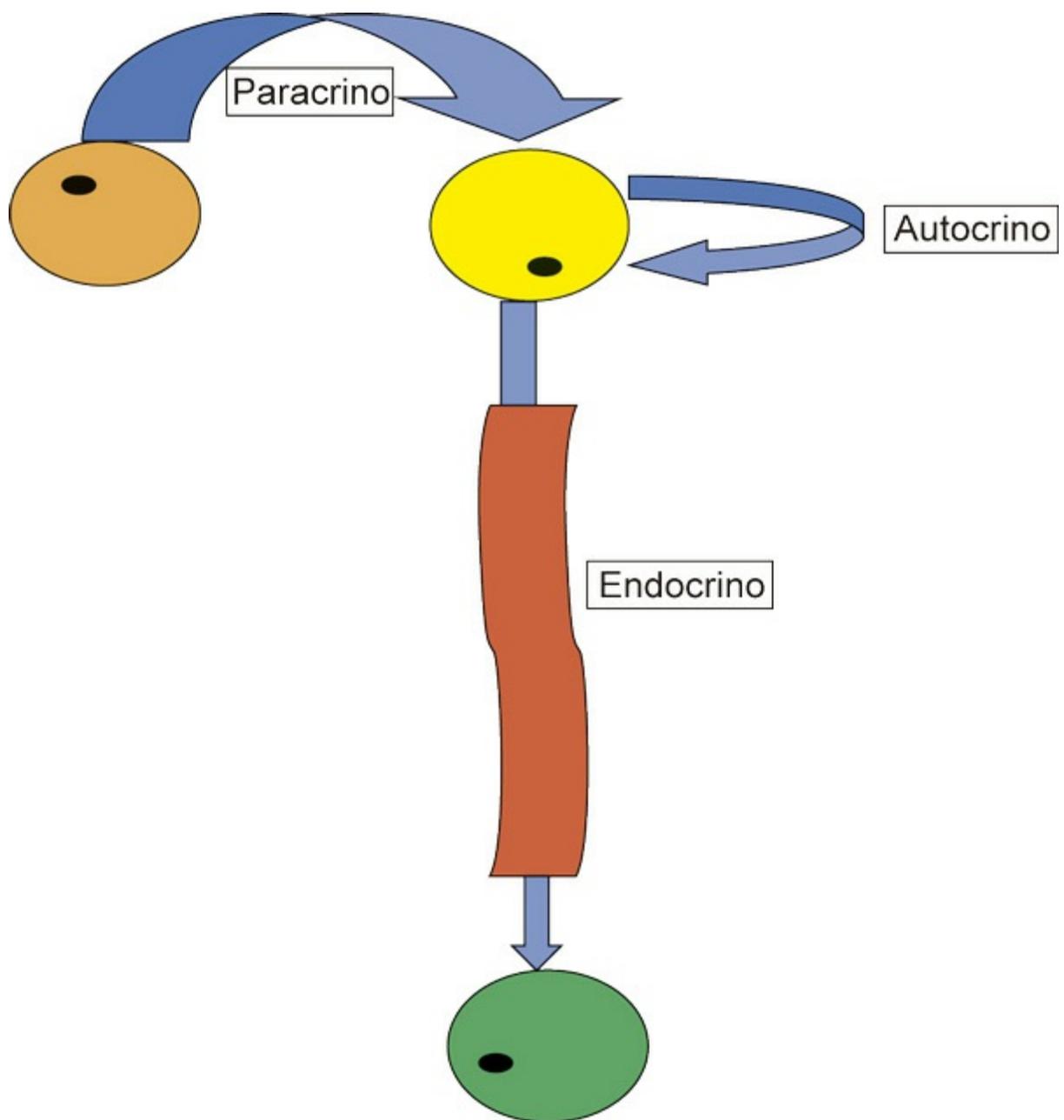


Figura 15-3. Endocrino, paracrino y autocrino.

Hormonas

Las hormonas son mensajeros químicos que una célula secreta en la sangre o en el líquido extracelular y ejercen su efecto en el funcionamiento de otras células. A diferencia del sistema nervioso, el cual podría decirse que se basa en cables (las neuronas) como un telégrafo, el sistema endocrino es como la radiofonía. Y como en una emisión de radio, es necesario que haya un receptor para que el mensaje hormonal sea recibido e induzca una acción. Cuando las hormonas circulan en la sangre entran en contacto virtualmente con cada célula del cuerpo, pero sólo ejercen su efecto específico en aquellas células que tienen receptores para esa hormona (las células objetivo). Como en un mecanismo de cerradura y llave, sólo la llave (hormona) correcta puede abrir una cerradura (receptor) específica (figura 15-4).

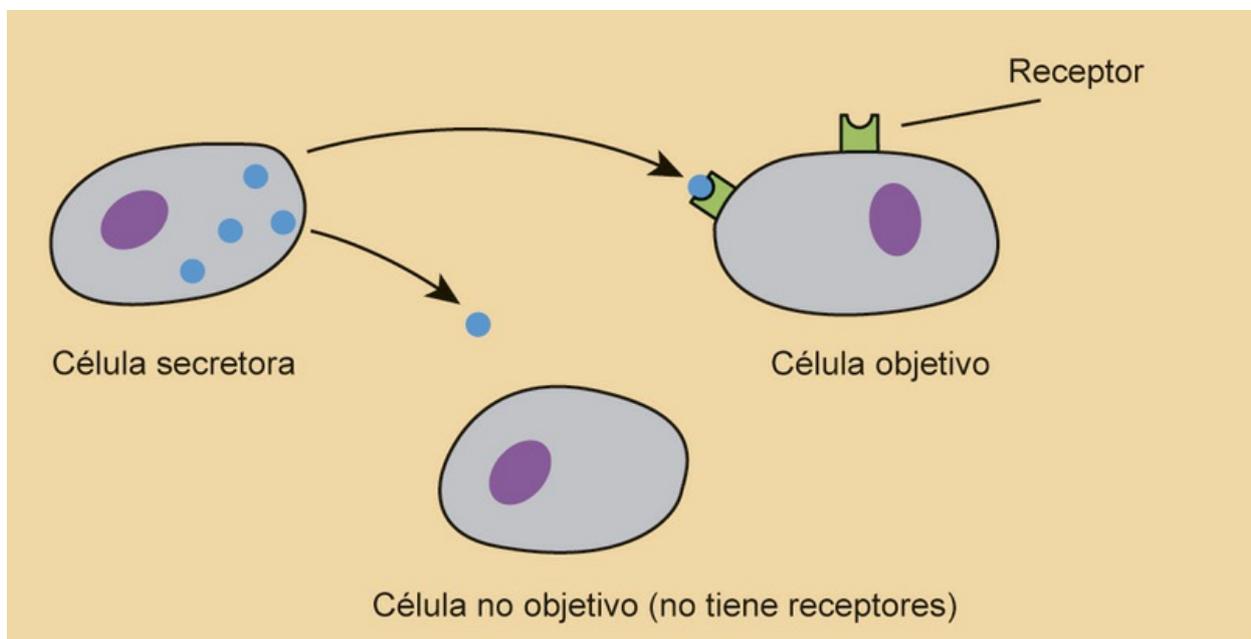


Figura 15-4. Célula objetivo y célula no objetivo.

Los receptores hormonales se encuentran dentro de la célula objetivo o en su superficie (como en la figura 15-4). El sitio del receptor depende del tipo de hormona que el receptor capta. La mayoría de las hormonas consisten en aminoácidos, pero algunas están constituidas por colesterol (las hormonas esteroideas).

- Las hormonas basadas en aminoácidos no pueden cruzar la membrana celular, y por tanto presentan receptores transmembrana celular. Esas hormonas tienden a ejercer su influencia activando enzimas y otras moléculas dentro de la célula, que entonces modifican la actividad celular. A menudo esto ocurre a través de una cascada de cambios, en la cual la activación de la enzima o molécula es el primer paso. El ejemplo mejor comprendido de esto es el monofosfato de adenosina cíclico.
- Las hormonas esteroideas pueden cruzar la membrana celular porque son

pequeñas y liposolubles, de modo que sus receptores se encuentran dentro de la célula. Estas hormonas suelen ejercer su efecto estimulando la producción de genes dentro de la célula objetivo. Los genes estimulan entonces la síntesis de nuevas proteínas.

- Una excepción es la hormona tiroidea, que no es esteroidea pero sí liposoluble y muy pequeña, y se difunde con facilidad a través de la membrana celular hacia el interior de la célula.

La activación de una célula objetivo depende de la concentración de la hormona en la sangre, el número de receptores en la célula y la afinidad del receptor por la hormona. Pueden ocurrir cambios muy rápidos en estos factores en respuesta a un cambio en los estímulos.

El factor más importante que modifica el efecto de una hormona en su célula objetivo es su concentración en la sangre, el líquido extracelular o ambos. Esta concentración de una hormona en la célula objetivo está determinada por tres factores:

- Velocidad de producción de la hormona: éste es el aspecto más regulado del sistema endocrino.
- Rapidez de suministro de la hormona: por ejemplo, el flujo sanguíneo al órgano o célula.
- Ritmo de destrucción y eliminación de la hormona (vida media). Hormonas con vida media breve rápidamente disminuirán en concentración, una vez que la producción decrezca. Si la vida media de la hormona es larga, entonces la hormona seguirá estando presente en concentraciones significativas por algún tiempo después de que su producción cese.

Los cambios en la concentración de hormonas puede ser un mecanismo de control rápido, en especial de la tasa de producción, pero entre los ajustes a más largo plazo en la sensibilidad de la célula objetivo a una hormona casi con toda certeza se incluirán también cambios en el número de receptores. Los cambios en el número de receptores se conocen como regulación a la alza y a la baja.

- Regulación a la alza: es la creación de más receptores en respuesta a bajas concentraciones circulantes de una hormona; la célula se hace más reactiva a la presencia de la hormona en la sangre.
- Regulación a la baja: es la reducción del número de receptores, y a menudo es la respuesta de una célula a periodos prolongados de altas concentraciones circulantes de una hormona; la célula se hace menos reactiva (se desensibiliza) a una hormona.

Transporte de hormonas

La mayoría de las hormonas se secretan en la sangre circulante, con excepción de las hormonas que se liberan en un aparato circulatorio local llamado circulación portal. Las dos circulaciones portales en el cuerpo humano son las

que conectan el hipotálamo y la adenohipófisis con la circulación hepática portal, que se fusionan para formar la vena porta que entra en el hígado.

Las hormonas esteroideas se transportan sobre todo en la circulación, unidas (fijas) a proteínas de transporte; menos del 10% constituye la “fracción libre” de la hormona (Jenkins and Tortora, 2013). En ambientes clínicos, el lector habrá notado que algunas pruebas de sangre se dedican de manera específica a medir tanto los elementos fijos como los libres de una hormona; las más comunes son las pruebas del funcionamiento tiroideo, que miden la tiroxina (T_4) fija y libre. Las hormonas hidrosolubles se transportan en su forma libre en la sangre.

Efectos de las hormonas

Las hormonas suelen inducir uno de los siguientes fenómenos:

- Cambios en la permeabilidad de la membrana celular y en el estado eléctrico de la célula (potencial de membrana) al abrir o cerrar canales iónicos en la membrana celular.
- Síntesis de proteínas o moléculas reguladoras (como enzimas) dentro de la célula.
- Activación o desactivación de enzimas.
- Inducción de actividad secretoras.
- Estímulo de la mitosis.

Control de la liberación de hormonas

La producción y liberación de la mayoría de las hormonas son precedidas por un estímulo que puede ser interno o externo; por ejemplo, un aumento en la concentración sanguínea de glucosa (glucemia) o un ambiente frío. La síntesis y liberación ulteriores de hormonas suelen ser controladas entonces por un sistema de retroalimentación negativa (retroinhibición). Como se observa en la figura 15-5, la influencia de un estímulo, desde el interior o el exterior del cuerpo (en este caso un aumento de la glucemia), induce la liberación de una hormona (insulina); después de esto, algún proceso en el funcionamiento del órgano objetivo inhibe la reacción posterior al estímulo y por tanto la ulterior liberación de la hormona por el órgano.

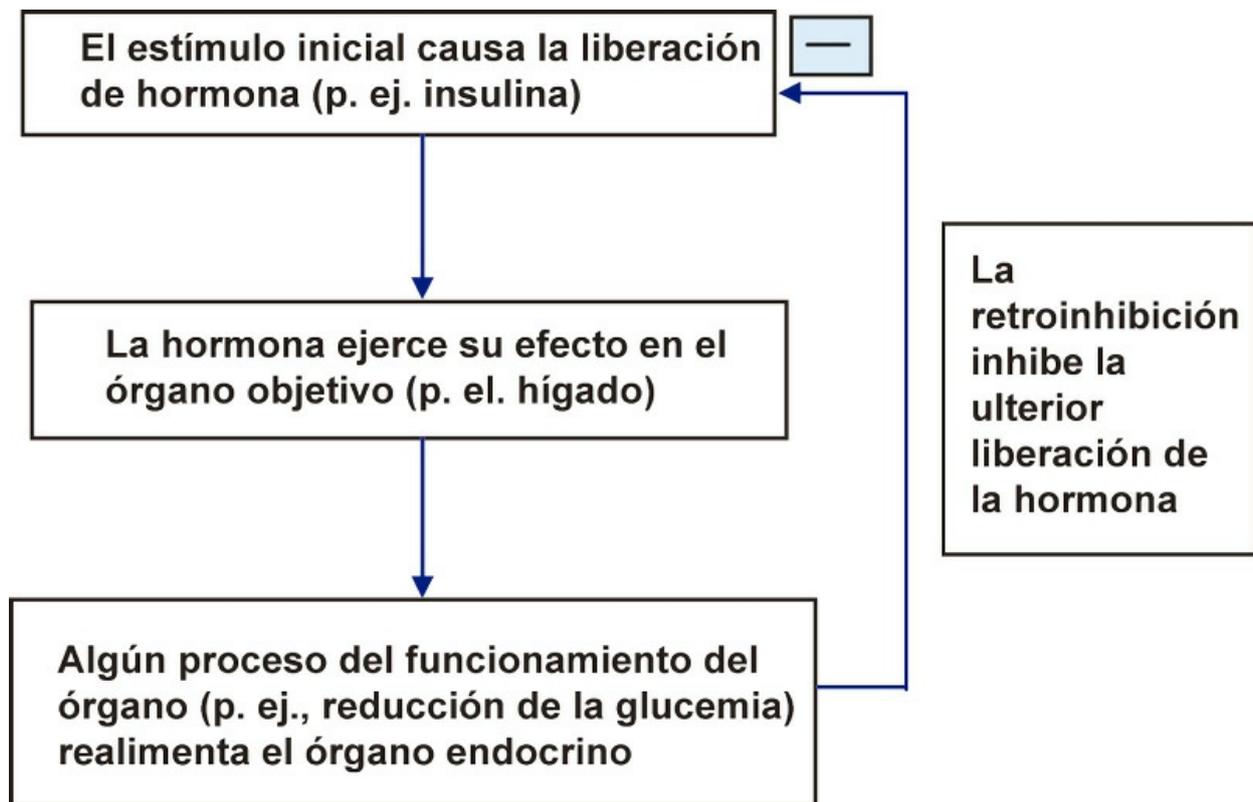


Figura 15-5. Sistema de retroinhibición. *Fuente:* Nair y Peate (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

El estímulo inicial para la liberación de una hormona suele ser de uno de tres tipos, aunque algunos órganos reaccionan a múltiples estímulos (Marieb and Hoehn, 2007).

- **Humoral:** respuesta a valores cambiantes de determinados iones y nutrientes en la sangre. Por ejemplo, la paratirina es estimulada por valores sanguíneos decrecientes de iones calcio.
- **Neural:** respuesta a estimulación nerviosa directa. Muy pocos órganos endocrinos son estimulados directamente por el sistema nervioso. Un ejemplo es el aumento de actividad del sistema nervioso simpático que estimula directamente la liberación de catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) por la médula suprarrenal.
- **Hormonal:** respuesta a hormonas liberadas por otros órganos. Las hormonas que se liberan en respuesta a estímulos hormonales suelen presentar un patrón de liberación rítmico (es decir, los valores aumentan y disminuyen de manera regular). Un ejemplo de control hormonal es la liberación de tirotrópina (TSH) por la adenohipófisis, que estimula en forma directa la producción y liberación de T_4 por la glándula tiroides.

Destrucción y eliminación de hormonas

Las hormonas son muy potentes y pueden tener un gran efecto incluso en bajas concentraciones; por ello, es esencial que las hormonas activas se eliminen de

manera eficiente de la sangre. Algunas hormonas se degradan con rapidez dentro de las células objetivo. La mayoría son desactivadas por sistemas enzimáticos en hígado y riñones, y luego se excretan sobre todo por la orina, aunque algunas son excretadas en las heces.

Fisiología de los órganos endocrinos

Hipotálamo e hipófisis

El hipotálamo es parte del encéfalo y tiene diversas funciones. Es una estructura cónica pequeña (con un peso aproximado de 4 gr), conectada con la hipófisis por el tallo hipofisario (o infundíbulo). Una de las funciones más importantes del hipotálamo es vincular el sistema nervioso con el sistema endocrino a través de la hipófisis. Casi toda la secreción hormonal de la hipófisis es controlada por señales hormonales o eléctricas del hipotálamo (figura 15-6).

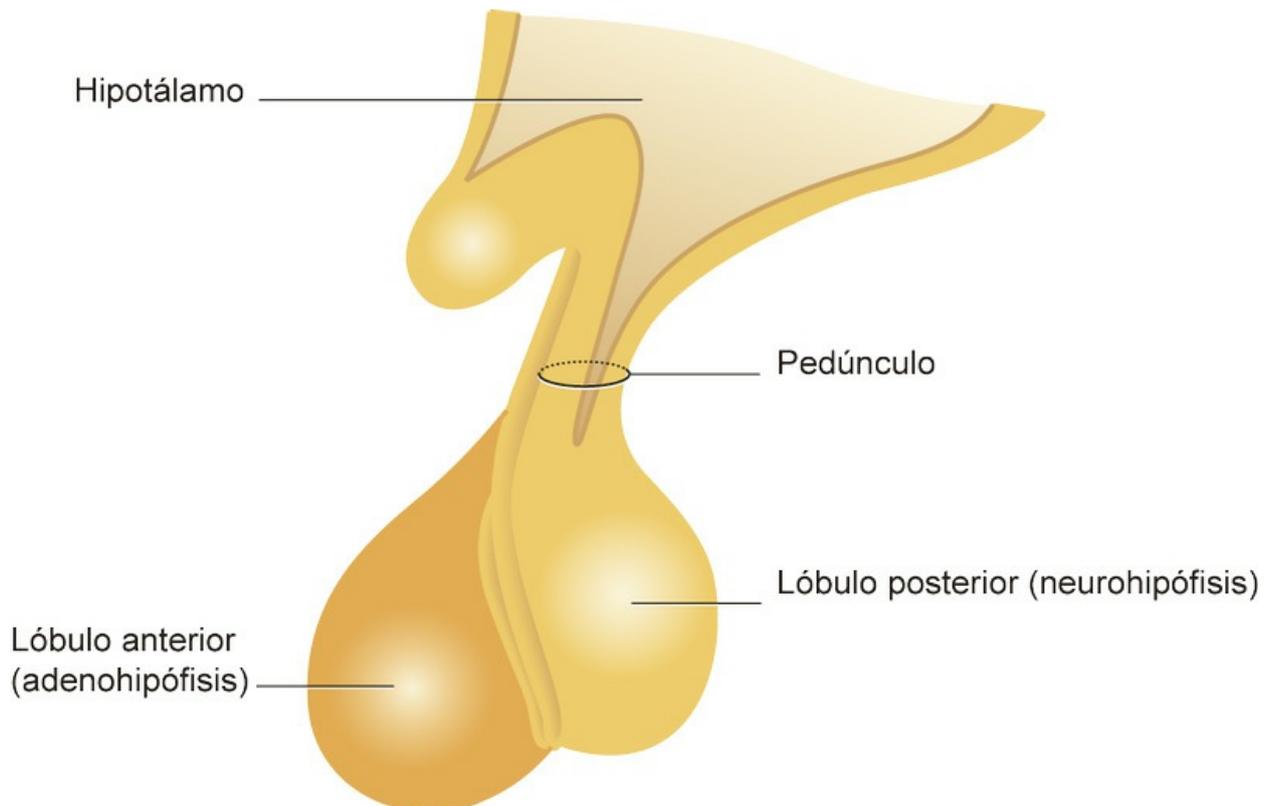


Figura 15-6. Hipotálamo e hipófisis.

El hipotálamo recibe señales virtualmente de todas las fuentes potenciales dentro del sistema nervioso, pero también está bajo control retroinhibitorio por las hormonas reguladas por la hipófisis. Así, cuando hay una baja concentración de una hormona en la sangre que irriga el hipotálamo esto causa la liberación de la hormona o de factores liberadores que estimulan la liberación de la hormona por la hipófisis, lo cual a su vez estimula la liberación de la hormona apropiada. Cuando el valor sanguíneo de la hormona objetivo aumenta, esto es detectado por receptores en el hipotálamo y el estímulo para la liberación del factor estimulante se elimina, y por tanto la liberación de este factor se reduce. Un ejemplo clásico de este sistema es la hormona liberadora de tirotrina” (TRH es de *thyrotropin releasing hormone*) y la liberación de hormona estimulante de tiroides (TSH) por la adenohipófisis, que se describe más adelante en este capítulo.

La hipófisis secreta al menos nueve hormonas importantes, y tiene la forma y

el tamaño de un guisante (chícharo) en un pedúnculo. La hipófisis se divide, desde el punto de vista funcional y anatómico, en dos partes:

- **Lóbulo posterior (neurohipófisis):** consiste sobre todo de fibras nerviosas que se originan en el hipotálamo y terminan en la superficie de capilares en el lóbulo posterior. Éste libera dos hormonas que recibe directamente del hipotálamo. En este sentido es de hecho una zona de almacenamiento más que una glándula en sentido estricto. El hipotálamo y la neurohipófisis están conectados por un fascículo nervioso llamado tracto hipotálamo-hipofisario.
- **El lóbulo anterior (adenohipófisis)** es mucho más grande que el lóbulo posterior y rodea en forma parcial el lóbulo posterior y el infundíbulo. Consiste de tejido glandular y produce y libera varias hormonas. El hipotálamo y la adenohipófisis carecen de conexiones nerviosas directas pero tienen una conexión vascular (vaso sanguíneo) llamada sistema portal hipotálamo-hipofisario, por la cual la sangre venosa procedente del hipotálamo fluye al lóbulo anterior. De este modo, el control de la adenohipófisis se ejerce liberando e inhibiendo factores (u hormonas) que a su vez son liberados por el hipotálamo.

Las hormonas secretadas por la neurohipófisis son:

- **Oxitocina:** actúa en las contracciones uterinas durante el parto y es responsable de la respuesta de la “bajada de leche” que se produce en las madres que alimentan del seno (liberación de la leche en respuesta a la succión). En varones y mujeres no gestantes al parecer interviene en la excitación sexual y el orgasmo (Jenkins and Tortora, 2013).
- **Vasopresina (ADH) hormona antidiuretica:** en condiciones de reposo, en la neurohipófisis se acumulan grandes cantidades de ADH; la excitación por impulsos nerviosos causa la liberación de la ADH desde el sitio donde se almacena hacia los vasos sanguíneos adyacentes. Los efectos de la ADH incluyen el aumento de la retención de agua por los riñones, con lo que incrementan la permeabilidad de los conductos colectores en los riñones. La secreción de ADH es estimulada:
 - Por incremento de la osmolalidad plasmática: aumento de la concentración de determinadas sustancias en el plasma, como el sodio.
 - Por decremento del volumen del líquido extracelular.
 - Por dolor y otros estados de estrés.
 - En respuesta a determinados fármacos.

Consideraciones clínicas

Síndrome de secreción inadecuada de hormona antidiuretica (SIADH)

Aunque raro, el SIADH es un trastorno que puede poner en riesgo la vida, ya que reduce la concentración sanguínea de sodio. Su fisiopatología es variable, pero se piensa que un

tipo se debe a cambios en la capacidad del hipotálamo de detectar una disminución en la osmolalidad sanguínea, y por lo tanto la secreción de ADH no se reduce y el volumen sanguíneo aumenta, lo que reduce la concentración de sodio respecto al volumen de sangre. Se piensa que en el anciano las células del hipotálamo elevan la producción de ADH con la edad. El SIADH clínicamente detectable tiene muchas causas posibles, incluidos varios fármacos de uso común (como morfina, diuréticos de asa, inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina y muchos antidepresivos), algunos trastornos neurológicos, varios tipos de cáncer, e hipotiroidismo. Es la causa más común de hiponatremia en pacientes de cuidados intensivos (Friedman and Cirulli, 2013), y también es común en ancianos.

Entre los síntomas del SIADH se incluyen anorexia, náusea, debilidad, confusión y delirio. En el anciano el diagnóstico de SIADH puede demorar, ya que uno de los signos de presentación común es un estado mental alterado (incluida confusión), que puede atribuirse en forma errónea a muchos otros factores o afecciones como la demencia, infección y accidente cerebrovascular (Nelson and Robinson, 2012).

El diagnóstico de SIADH incluye la detección de valores sanguíneos bajos de sodio con volumen sanguíneo normal (euvolemia).

El tratamiento del SIADH consiste en restricción de líquido, lo que eleva los valores relativos de sodio en la sangre al reducir la volemia, y cuando resulte posible debe tratarse la causa. En casos que requieren tratamiento urgente, puede infundirse solución salina hipertónica (al 3%) para incrementar de manera temporal la concentración sanguínea de sodio (Gross, 2012).

Hormonas liberadas por la adenohipófisis

En el cuadro 15-2 se resume la gama de hormonas liberadas por la adenohipófisis y los factores y hormonas hipotalámicos liberadores o inhibidores que influyen en esta liberación.

Cuadro 15-2. Hormonas liberadas por el hipotálamo y la adenohipófisis

| Hipotálamo | Adenohipófisis | Órgano o tejidos objetivo | Acción |
|--|--------------------------------------|-----------------------------|---|
| Factor liberador de somatotropina | Somatotropina | Muchos (en especial huesos) | Estimula el crecimiento de las células corporales |
| Factor inhibidor de la liberación de somatotropina | Somatotropina (inhibe su liberación) | Muchos | |
| Hormona liberadora de tirotropina (TRH) | Tirotropina (TSH) | Glándula tiroidea | Estimula la liberación de hormona tiroidea |
| Corticoliberina (CRH) | Corticotropina (ACTH) | Corteza suprarrenal | Estimula la liberación de corticosteroides |
| | | | |

| | | | |
|------------------|-----------------------------|---------|----------------------------------|
| Prolactoliberina | Prolactina | Mamas | Estimula la producción de leche |
| Prolactostatina | | Mamas | Inhibe liberación de prolactina |
| Gonadoliberina | Folitropina Luteotropina | Gónadas | Diversas funciones reproductivas |

Fuente: Nair and Peate (2009). Reproducido con permiso de John Wiley & Sons.

Hay cinco tipos de células hipofisarias en el lóbulo anterior:

- Somatotropas, que secretan somatotropina.
- Lactotropas, que secretan prolactina.
- Tirotropas, que secretan hormona estimulante de tiroides (TSH).
- Gonadotropas, que secretan luteotropina (LH) y folitropina (FSH).
- Corticotropas, que secretan corticotropina (ACTH).

Somatotropina

Efectos

La somatotropina promueve el crecimiento del hueso, cartílago y tejidos blandos al estimular la producción y liberación del factor de crecimiento insulinoide (IGF-1).

Regulación

La liberación de somatotropina por la adenohipófisis es regulada por la liberación de somatoliberina y somatostatina desde el hipotálamo. Tanto la somatotropina como la IGF-1 tienen un efecto retroinhibitorio en el hipotálamo.

Prolactina

Efectos

La prolactina estimula la secreción de leche por las mamas.

Regulación

La secreción es inhibida por la liberación de dopamina desde el hipotálamo. Puede aumentar de manera intermitente por la liberación de prolactoliberina u hormona liberadora de prolactina, desde el hipotálamo en respuesta a la succión del bebé en la mama.

Hormona luteinizante (LH) y hormona folículo estimulante (FSH)

Efectos

En varones, la FSH estimula la producción de espermatozoides. En mujeres induce la maduración temprana de los folículos ováricos y la secreción de estrógeno.

La LH se encarga de la maduración final de los folículos ováricos y la secreción de estrógeno en mujeres, y en varones estimula la secreción de testosterona.

Regulación

En el varón y la mujer, la producción de LH y FSH es regulada por la liberación de hormona liberadora de la gonadotropina (GnRH). Testosterona y estrógeno tienen un efecto de retroinhibición sobre la liberación de GnRH por el hipotálamo.

Tirotropina

Efectos

La TSH estimula la actividad de las células de la glándula tiroides, con lo que incrementa la producción y secreción de tiroxina T_4 y triyodotironina (T_3).

Regulación

La TSH se produce y libera en respuesta a la liberación de TRH desde el hipotálamo. Éste también puede inhibir la liberación de TSH a través de la acción de la somatostatina.

Las T_3 y T_4 libres en la sangre tienen un efecto de retroinhibición directa en el hipotálamo y la adenohipófisis.

Corticotropina

Efectos

La ACTH estimula la producción de cortisol y andrógenos por la corteza de la glándula suprarrenal. También induce la producción de aldosterona en respuesta a un aumento en las concentraciones de iones potasio, incremento en los valores de angiotensina o disminución del sodio corporal total.

Regulación

La ACTH se secreta en la adenohipófisis en respuesta a la secreción de corticoliberina u hormona liberadora de corticotropina (CRH) desde el hipotálamo. La excitación del hipotálamo por cualquier forma de estrés causa la liberación de CRH y la ulterior liberación de ACTH y luego cortisol. El cortisol tiene un efecto de retroinhibición directa en el hipotálamo y en la adenohipófisis.

Caso clínico

Marta es una mujer de 50 años que es enviada al endocrinólogo por su médico general. Ha estado informando aumento de peso, en especial aumento de la grasa en la cara y parte posterior del cuello. Al mismo tiempo ha notado crecimiento excesivo del vello en cara y cuello. En el interrogatorio, el endocrinólogo se entera de que Marta ha advertido una propensión a las equimosis y cansancio constante.

El médico sospecha que Marta tiene enfermedad de Cushing, causada por valores elevados de cortisol. Hay varias causas posibles para ese trastorno, pero la más común es el uso prolongado de dosis altas de glucocorticoides. Marta no toma ningún medicamento habitual, y esto hace al médico sospechar que la causa de la producción elevada de cortisol podría ser un tumor. Se toma una muestra de sangre de Marta para medir su concentración de cortisol, y se realiza un análisis de orina de 24 h; ambos revelan valores elevados de cortisol.

La resonancia magnética demuestra que Marta tiene un tumor en la hipófisis, que causa la producción excesiva de ACTH (adenoma corticotropo).

Marta es transferida con rapidez al cuidado de un neurocirujano para que realice una operación denominada hipofisectomía transesfenoidal (la extirpación de la hipófisis a través de la cavidad nasal). Esta intervención extirpa la totalidad de la hipófisis o parte de ella (Liubinas *et al.*, 2011).

En el caso de Marta fue necesario extirpar la glándula completa. Después de la cirugía quedó sin hipófisis, y por ello resultó incapaz de producir ninguna de las hormonas hipofisarias, incluidas TRH y ACTH. La pérdida de la producción de TRH y ACTH significa que ya no tendrá estímulos para que la glándula tiroides y las glándulas suprarrenales produzcan hormonas, lo cual hace necesaria una terapia de remplazo hormonal para hipotiroidismo e hiposuprarrenalismo.

Glándula tiroides

La tiroides es una glándula en forma de mariposa localizada al frente del cuello, en la tráquea, inmediatamente abajo de la laringe (figura 15-7). Consiste de dos lóbulos unidos por un istmo (una banda estrecha; istmo = cuello). Las extremidades altas de los lóbulos se conocen como polos superiores, y las bajas son los polos inferiores. Cada lóbulo está formado por folículos esféricos huecos rodeados por capilares. Esto permite un abundante suministro de sangre; aunque la glándula tiroides representa 0.4% del peso corporal total, recibe 2% de la sangre circulante.

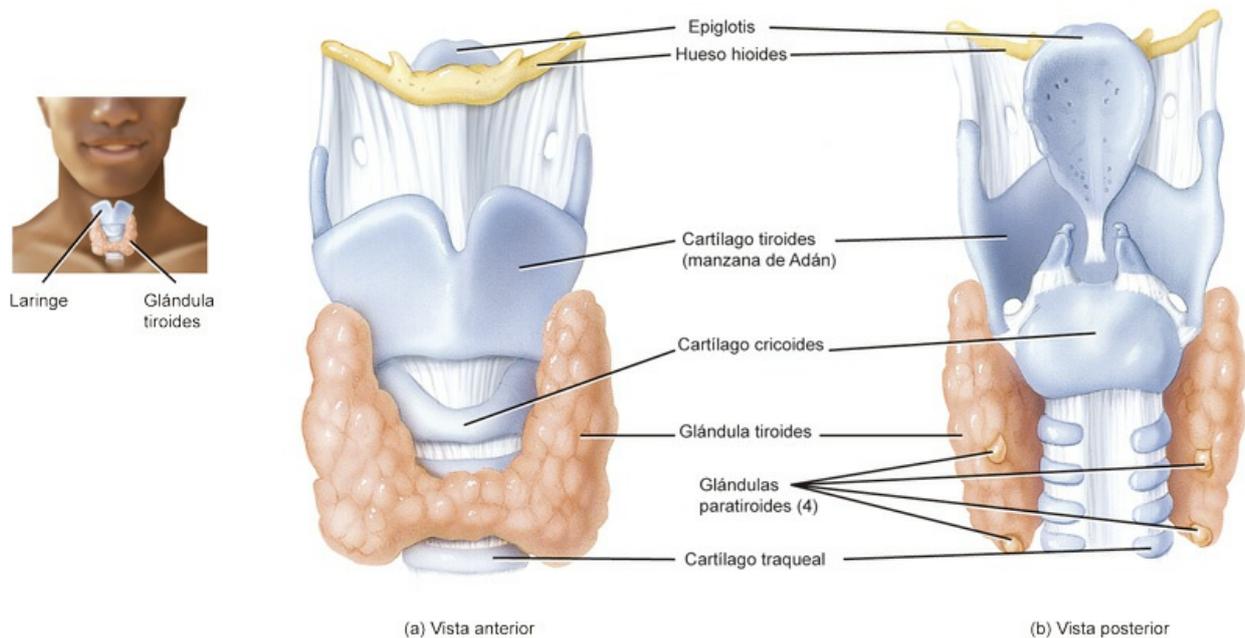


Figura 15-7. (a, b) Posición de las glándulas tiroides y paratiroides. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los folículos consisten en una capa simple de células epiteliales que forman una cavidad la cual contiene moléculas de tiroglobulina con moléculas de yodo unidas; la hormona tiroidea se produce a partir de esto. Una característica única de la tiroides es su capacidad de sintetizar y almacenar grandes cantidades de hormona; hasta 100 días de suministro hormonal (Guyton and Hall, 2006). La tiroides libera dos formas de hormona tiroidea: T_4 y T_3 ; ambas requieren yodo para su producción. El yoduro proveniente de los alimentos es concentrado por la tiroides y se convierte en yodo en las células foliculares. Este yodo es unido entonces a moléculas de tirosina; luego estas moléculas de tirosina yodada se unen entre sí para formar T_3 y T_4 . Todos los pasos de la producción de hormona tiroidea son estimulados por TSH. La T_4 es la principal hormona liberada por la glándula tiroides; luego es convertida en T_3 por las células objetivo. La mayor parte de la hormona tiroidea se fija a proteínas de transporte en la sangre; muy poca queda sin fijar (libre), y la T_3 se fija menos firmemente a las proteínas de transporte que la T_4 .

La hormona tiroidea influye en cada célula del cuerpo, excepto en:

- Encéfalo del adulto.
- Bazo.
- Testículos.
- Útero.
- Glándula tiroides.

Tanto T_4 como T_3 cruzan con facilidad la membrana celular e interactúan con receptores dentro de la célula. En las células diana, la hormona tiroidea estimula enzimas que intervienen en la oxidación de glucosa. Esto se conoce como efecto calorígeno, y sus acciones globales son:

- Aumento de la tasa metabólica basal.
- Aumento del consumo de oxígeno por la célula.
- Aumento de la producción de calor corporal.

La tasa metabólica basal es la cantidad de energía consumida en reposo en un ambiente templado (sin frío ni calor). La liberación de energía en este estado es suficiente para el funcionamiento de los órganos vitales. Cuando la tasa metabólica basal aumenta también lo hace el consumo de oxígeno, dado que se requiere oxígeno para la producción de energía.

La hormona tiroidea también tiene un importante cometido en el mantenimiento de la presión arterial, ya que estimula el aumento del número de receptores en las paredes de los vasos sanguíneos.

El control de la liberación de hormona tiroidea es mediado por un sistema de retroinhibición en el que participan el hipotálamo y cascadas a través de la hipófisis (figura 15-8).

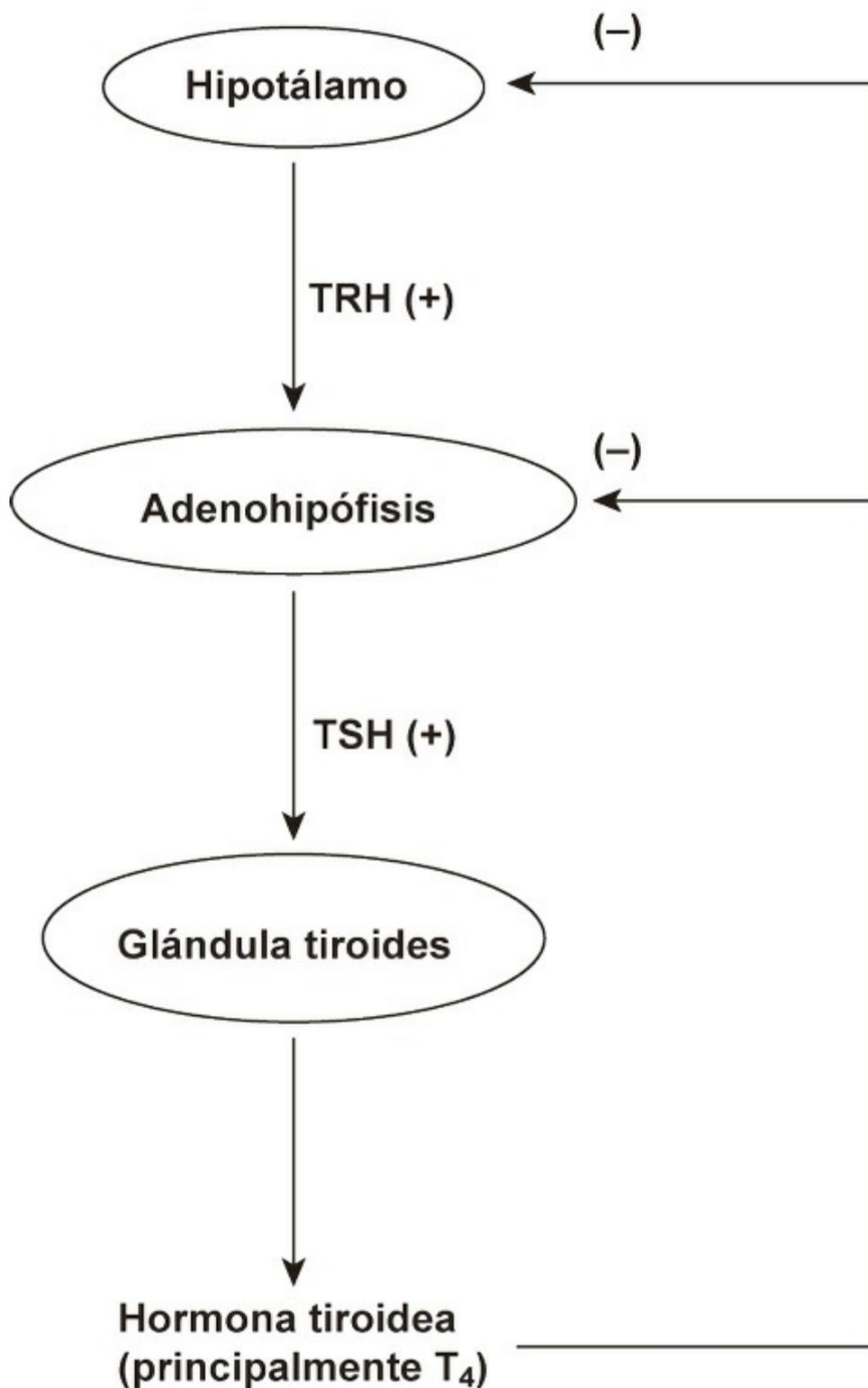


Figura 15-8. Control por retroinhibición de la producción de hormona tiroidea.

Los valores plasmáticos de la hormona tiroidea son controlados en el hipotálamo y por células de la adenohipófisis. Las concentraciones sanguíneas elevadas de T_4 inhiben la liberación de TRH por el hipotálamo, con lo que reducen la estimulación para que la adenohipófisis libere TSH. Las hormonas tiroideas también tienen un efecto directo de retroinhibición sobre la

adenohipófisis. El efecto de la TSH sobre la tiroides es promover la liberación de hormona tiroidea en la sangre; por lo tanto, una reducción en TSH reduce la liberación de T_3 y T_4 . Un valor reducido de T_4 en la sangre reduce la retroinhibición, y de este modo ocurre un incremento en la liberación de TRH, que ocasiona un aumento en la actividad de la glándula tiroides. Las condiciones que elevan la necesidad de energía del cuerpo (como el embarazo o disminución de la temperatura corporal prolongada) también estimulan la liberación de TRH por el hipotálamo y por lo tanto causan un aumento en las concentraciones sanguíneas de la hormona tiroidea. En estas situaciones, las condiciones estimulantes superan al sistema de retroinhibición normal (Jenkins and Tortora, 2013). El control por retroinhibición de la hormona tiroidea puede compararse con un sistema de calefacción central. El hipotálamo y la hipófisis son el termostato y la glándula tiroides es la caldera. Cuando la temperatura ambiente aumenta, el termostato apaga la caldera central; cuando la temperatura descende, el termostato enciende la caldera para incrementar la temperatura.

La vida media de T_4 es de alrededor de 7 días, y la de T_3 es de 1 día. Las hormonas tiroideas se degradan en el hígado y el músculo esquelético, y si bien gran parte del yodo se recicla, algo se pierde en la orina y las heces. Debido a ello, es necesario reponer el yodo todos los días en los alimentos.

Consideraciones clínicas

Hipotiroidismo e hipertiroidismo

Es posible medir la concentración sanguínea de la hormona tiroidea de una persona. Según si la glándula tiroides es demasiado activa o inactiva, la prueba revelará diferentes valores de las hormonas. Por lo general, lo que se valora son las concentraciones de T_4 libre y TSH.

| | TSH | T_4 libre |
|-----------------|----------|-------------|
| Hipertiroidismo | Reducida | Elevada |
| Hipotiroidismo | Elevada | Reducida |

En el caso de un paciente con actividad excesiva de la glándula tiroides (hipertiroidismo), con frecuencia la T_4 libre estará elevada pero la TSH estará reducida, ya que las concentraciones de hormona tiroidea ejercerán un efecto de retroinhibición en hipotálamo e hipófisis. A pesar de los valores reducidos de TSH y del efecto de retroinhibición sobre la hipófisis, los valores hormonales permanecerán elevados.

Un paciente con hipotiroidismo (glándula tiroides hipoactiva) a menudo presenta T_4 libre reducida y TSH elevada, ya que los valores bajos de hormona eliminan la retroinhibición sobre el hipotálamo e hipófisis, y por tanto los valores de TSH aumentan. Los pacientes con resultados de la prueba dentro del intervalo normal se denominan “eutiroides”.

Síndrome del eutiroides enfermo

Durante una enfermedad grave o inanición, se reduce el estímulo de la tiroides sobre el metabolismo. En este caso se usa el término “eutiroideo enfermo”, dado que representa un estado de funcionamiento tiroideo adecuado en un individuo enfermo; vuelve a la normalidad con la recuperación de la salud.

La T_3 se produce por conversión de T_4 en la célula objetivo. En el paciente eutiroideo enfermo típico, la T_3 circulante suele ser baja, pero la T_4 total puede ser normal o incluso elevada dado que hay una menor conversión en T_3 . A la inversa, T_4 puede ser baja, dado que la mayor parte se transporta en proteínas fijadoras séricas y su síntesis puede ser suprimida por una enfermedad grave. En estos casos la ausencia de una TSH elevada excluye el diagnóstico de hipotiroidismo primario (McDermott, 2014).

Se sabe que los pacientes graves con síndrome eutiroideo enfermo tienen mayor mortalidad, pero hoy día no se recomiendan las pruebas sistemáticas del funcionamiento tiroideo en el paciente en estado crítico, y sólo deben realizarse cuando existe la sospecha clínica de hipotiroidismo (Economidou *et al.*, 2011).

Además de las células epiteliales tiroideas están las células C, localizadas entre los folículos, que secretan calcitonina. La calcitonina interviene en el metabolismo del calcio y el fósforo. Reduce los valores sanguíneos de calcio al atenuar la actividad de los osteoclastos (células que “digieren” hueso y de este modo liberan calcio y fósforo en la sangre); debido a esta acción, la calcitonina se usa como tratamiento para la osteoporosis, y quizá tenga futuro en el tratamiento de la artrosis (Mero *et al.*, 2014). Asimismo la calcitonina inhibe la reabsorción de calcio de la orina en los riñones.

Caso clínico

Andrea es una mujer de 24 años que ha venido experimentando síntomas de letargo, anorexia, aumento de peso y depresión leve. Al principio el médico pensó que los síntomas se debían al modo de vida de Andrea, y le recomendó descanso y ejercicio suficientes. Los meses pasaron, pero los síntomas no mejoraron, y Andrea empezó a perder cabello. El médico le solicitó pruebas de funcionamiento tiroideo. Los resultados indicaron aumento de TSH y disminución de T_4 libre, lo cual sugería enfermedad hipotiroidea.

Se le prescribió levotiroxina, pero se le informó a Andrea que pasarían varias semanas (si no meses) antes de que ella notara mejoría, y mientras tanto se requerirían pruebas repetidas de sangre para vigilar los valores de T_4 a fin de asegurar que la dosis fuera la correcta.

La levotiroxina es una versión sintética de la hormona T_4 , y en general está exenta de efectos secundarios en la dosis correcta. La levotiroxina debe tomarse a la misma hora todos los días, de preferencia con el estómago vacío. Se recomienda a los pacientes que, de ser posible, tomen la levotiroxina una hora antes de desayunar.

También debe aconsejarse a Andrea que antes de intentar embarazarse debe comentarlo con su endocrinólogo. Se recomienda medir los valores del remplazo tiroideo antes de la concepción, ya que los valores maternos bajos de T_4 en el primer trimestre se relacionan con un deterioro intelectual del bebé. Las necesidades de levotiroxina aumentan en alrededor de 50% en el embarazo, y se recomienda a la paciente elevar la dosis en cuanto sepa que está embarazada (Weetman, 2013).



Paratiroides

Las paratiroides (figura 15-7) son pequeñas glándulas localizadas en la parte posterior de la glándula tiroides. Suele haber dos pares de glándulas, pero el número preciso varía, y se ha informado que algunos pacientes tienen hasta cuatro pares (Marieb and Hoehn, 2007). Las células que producen y secretan paratirina (células principales paratiroides) se disponen en cuerdas o nidos alrededor de una densa red de capilares. La paratirina es la hormona individual más importante para el control del equilibrio del calcio en el organismo. Sus principales células objetivo están en los huesos y los riñones; entre sus funciones se enlistan:

- Incrementar la absorción intestinal de calcio.
- Estimular la absorción renal de calcio.
- Estimular la actividad de los osteoclastos, y por tanto la reabsorción de calcio de los huesos.

Desde un punto de vista fisiológico, el calcio es importante en la transmisión de impulsos nerviosos, interviene en la contracción muscular y también es necesario para la síntesis de factores de la coagulación en la sangre. La regulación de la síntesis y secreción de paratirina ocurre en respuesta a los valores de calcio en la sangre, que son controlados por células de la glándula. Una concentración sanguínea reducida de calcio ocasiona un aumento en la síntesis y secreción de paratirina.

El calcitriol es una hormona liberada por los riñones en respuesta a un decremento de los iones calcio en la sangre; se sabe que tiene algún efecto en la secreción de paratirina e inhibe la liberación de calcitonina. También promueve la absorción de calcio en el intestino y su reabsorción en los túbulos renales. La paratirina es un estimulante conocido para la liberación de calcitriol, pero cuando el calcitriol alcanza una concentración suficientemente alta su efecto cambia al de inhibir la liberación de paratirina. Esto impide un aumento incontrolable del calcio en la sangre.

Caso clínico

Pedro es un varón de 74 años de edad con insuficiencia renal crónica. De manera persistente ha informado dolor intenso de huesos y articulaciones. Los análisis de sangre indican concentraciones elevadas de paratirina pero bajas de calcio. Pedro tiene hiperparatiroidismo secundario relacionado con su enfermedad renal.

La destrucción del riñón puede ocasionar pérdida de la síntesis y liberación de calcitriol, y por tanto baja de los valores sanguíneos de calcio. En respuesta a ello las paratiroides incrementan la producción y liberación de paratirina y se hipertrofian (la hipertrofia es el aumento de tamaño de un órgano).

El tratamiento clínico del hiperparatiroidismo secundario se enfoca en prevenir la osteoporosis, administrando calcio y una forma activa de vitamina D. La vitamina D es necesaria porque contribuye a la absorción de calcio en los intestinos. En condiciones

normales, la vitamina D es convertida en una forma activa por los riñones, pero en la insuficiencia renal ello no puede ocurrir; así, el paciente debe tomar una forma activa de vitamina D.

Si las paratiroides no reaccionan al aumento en los valores de calcio y la concentración sanguínea de paratirinas permanece elevada, puede considerarse la cirugía para eliminar las paratiroides. Se han realizado estudios para encontrar un fármaco calcimimético que imite el efecto del calcio en las paratiroides y de este modo reducir la producción de paratirina y “la necesidad de cirugía se reduce considerablemente (Ballinger *et al.*, 2014).

Glándulas suprarrenales

Las glándulas suprarrenales son órganos multifuncionales complejos cuyas secreciones son esenciales para el mantenimiento de la homeostasis. Las dos glándulas suprarrenales se encuentran arriba de los riñones (figura 15-9). La derecha es medio triangular, y la izquierda, que suele ser más grande, tiene forma de luna creciente. Ambas glándulas están dentro de una cápsula de tejido conjuntivo, embebidas en grasa. Las glándulas suprarrenales están altamente vascularizadas (tienen un abundante suministro de sangre de muchos vasos sanguíneos).

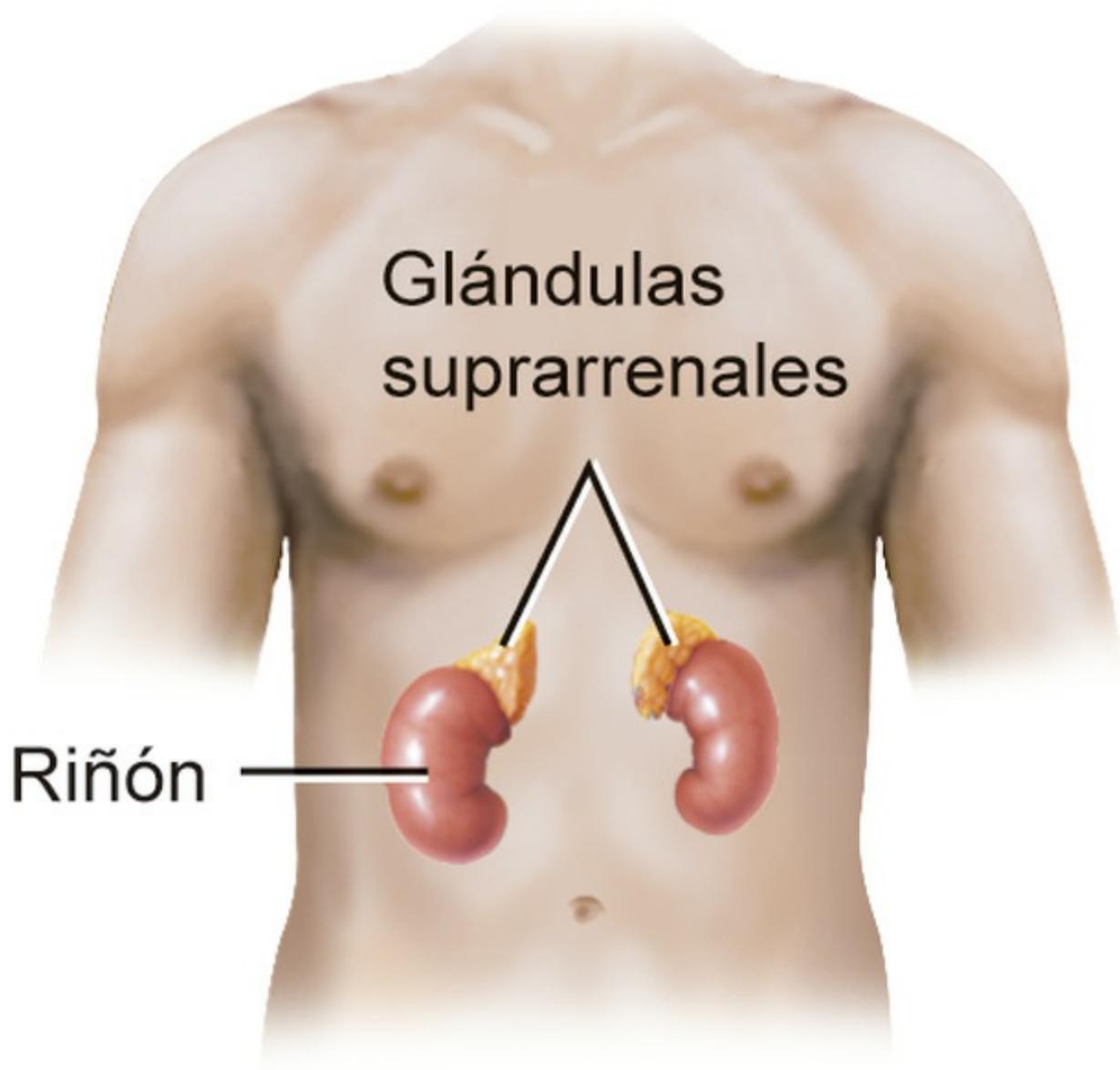


Figura 15-9. Posición de las glándulas suprarrenales. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Desde el punto de vista funcional, cada glándula suprarrenal es en realidad dos glándulas, y consiste en dos regiones principales (figura 15-10):

Corte transversal

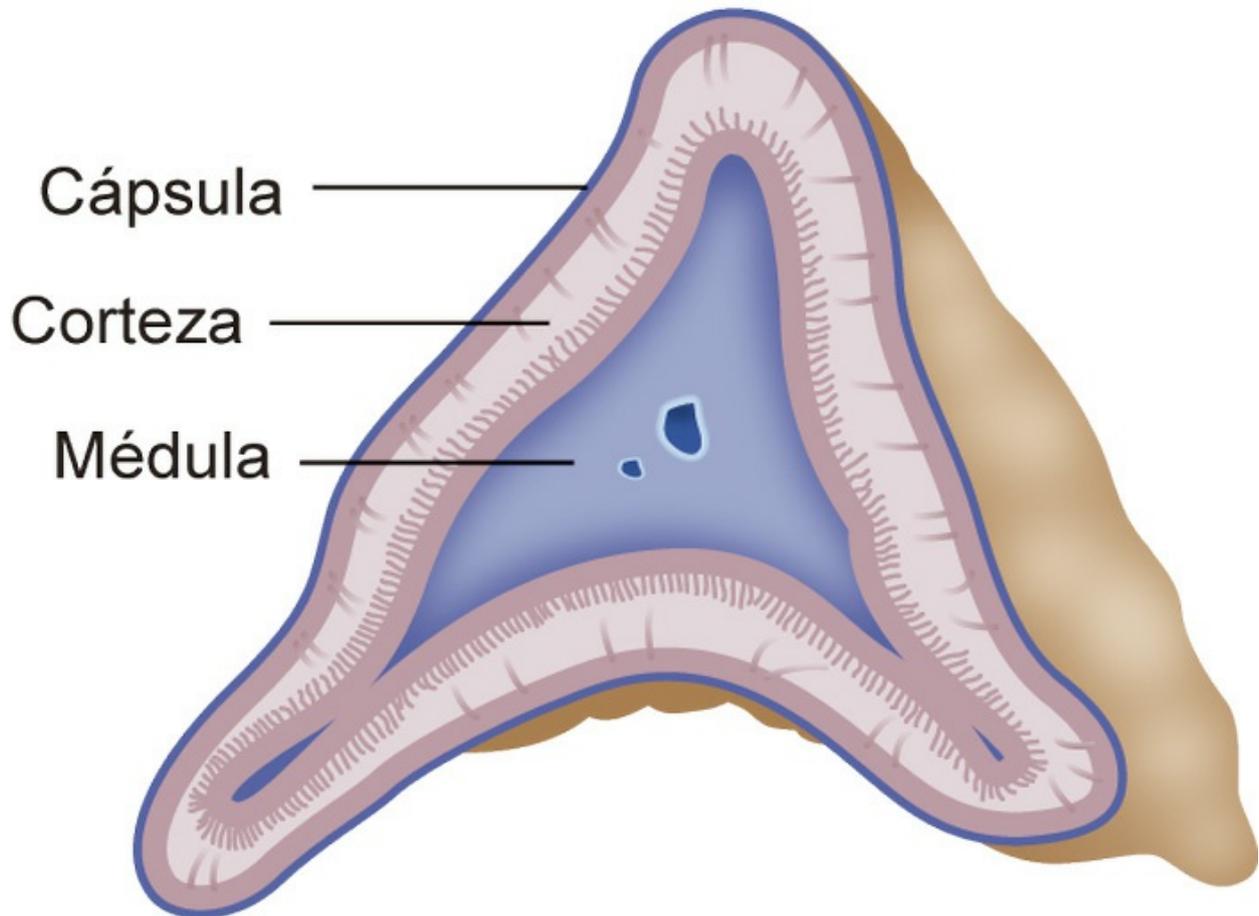


Figura 15-10. Corte transversal de una glándula suprarrenal. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Médula suprarrenal.
- Corteza suprarrenal.

Médula suprarrenal

La médula suprarrenal es la parte interna de la glándula suprarrenal; constituye un 30% de la masa total de ésta. La función de la médula suprarrenal es la secreción de catecolaminas:

- Adrenalina.
- Noradrenalina.
- Dopamina.

La médula suprarrenal es en mayor medida un ganglio simpático modificado densamente inervado, constituido por células que contienen gránulos. Dentro de la médula suprarrenal alrededor de 90% de las células secretan adrenalina, y el 10% restante secreta noradrenalina. A la fecha es incierto cuáles células secretan dopamina.

Los efectos de las catecolaminas son muchos y variados:

- Estimulan el sistema nervioso.
- Tienen efectos metabólicos: por ejemplo, glucogenólisis en el hígado y el músculo esquelético.
- Elevan la tasa metabólica.
- Aumentan la frecuencia cardíaca.
- Incrementan el estado de alerta; aunque la adrenalina con frecuencia induce ansiedad y temor.
- La noradrenalina causa vasoconstricción significativa generalizada.
- La adrenalina causa vasoconstricción de piel y vísceras, pero vasodilatación de músculos esqueléticos.

Aunque la adrenalina y la noradrenalina son esenciales para el funcionamiento corporal normal, la adrenalina y noradrenalina secretadas por la médula suprarrenal no son esenciales, y sólo intensifican los efectos de la estimulación nerviosa simpática.

La secreción de catecolaminas desde la médula suprarrenal es iniciada por una actividad nerviosa simpática controlada por el hipotálamo, y ocurre en respuesta a:

- Dolor.
- Ansiedad.
- Excitación.
- Hipovolemia.
- Hipoglucemia.

La médula recibe su suministro de sangre desde la corteza suprarrenal, rica en corticosteroides. Éstos regulan la producción de las enzimas que convierten noradrenalina en adrenalina. Así, un incremento en la producción de corticosteroides ocasiona una mayor conversión de noradrenalina en adrenalina. En la estimulación de urgencia del hipotálamo ocurre una actividad medular difusa de respuesta en preparación para “pelear o huir”. Las catecolaminas tienen vida media muy breve en la sangre, de menos de 2 min; son degradadas con rapidez por enzimas presentes en la sangre.

Corteza suprarrenal

La parte externa de cada glándula suprarrenal consiste de tres capas funcionales bien definidas (figura 15-11). Cada capa interviene en la producción de hormonas a base de esteroides (llamadas en forma colectiva corticosteroides):

Corte microscópico

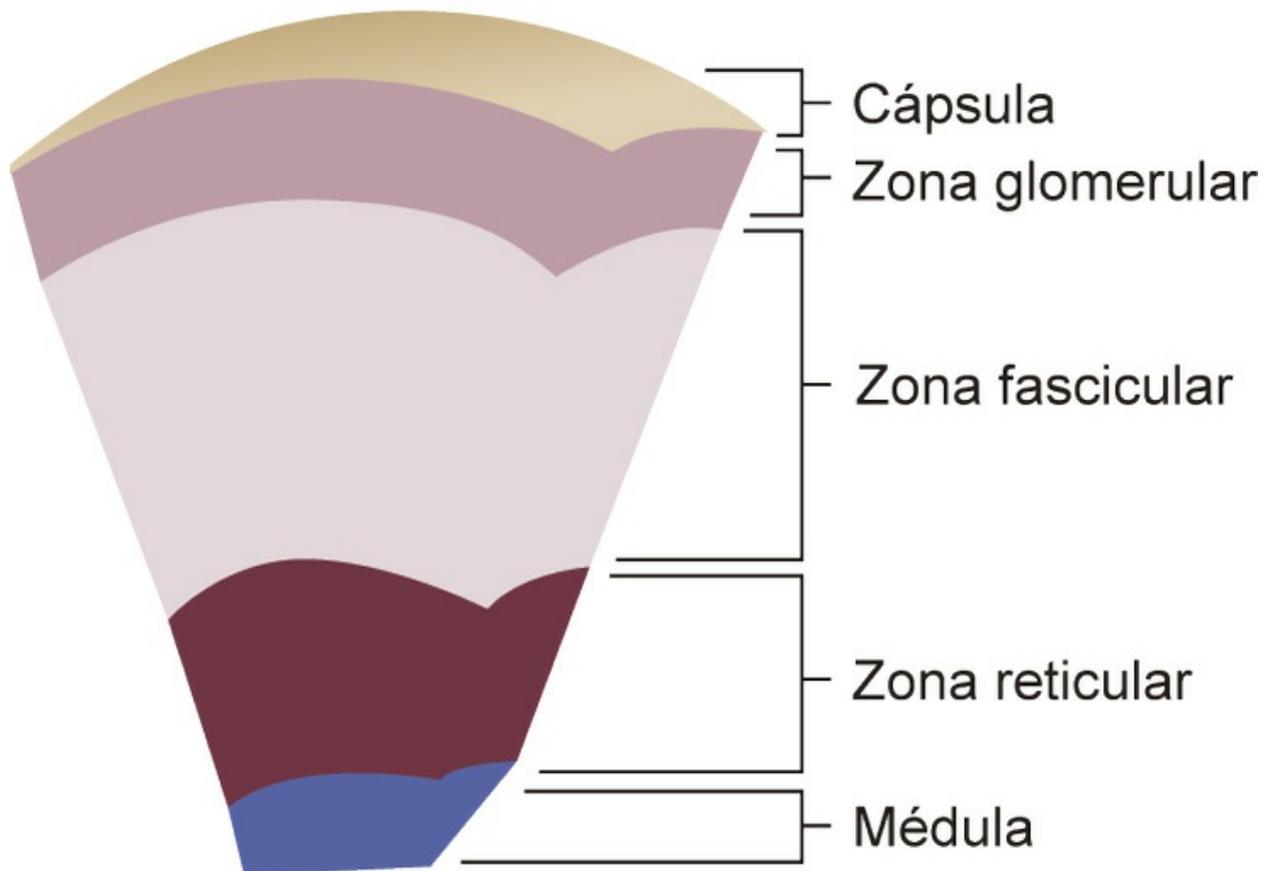


Figura 15-11. Corte transversal de la corteza suprarrenal. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Zona glomerular: produce los mineralocorticoides.
- Zona fascicular: produce los glucocorticoides.
- Zona reticular: también participa en la producción de glucocorticoides y produce pequeñas cantidades de hormonas sexuales suprarrenales (los gonadocorticoides).

Mineralocorticoides

Los mineralocorticoides son el grupo de hormonas cuya principal función es regular la concentración de los electrolitos en la sangre. Hay varios mineralocorticoides conocidos, pero el más común es la aldosterona, que representa 95% de todos los mineralocorticoides sintetizados y es asimismo el más potente.

El efecto de la aldosterona es reducir la excreción de sodio en la orina al regular la reabsorción de sodio desde la orina en la porción distal de los túbulos renales. El sodio es en efecto intercambiado por potasio e hidrógeno, lo que da como resultado la excreción renal de potasio y orina ácida. La aldosterona también actúa sobre las concentraciones de agua y en algunos otros iones (incluidos potasio, bicarbonato y cloruro), debido a que su regulación está acoplada a la regulación del sodio en el cuerpo. El control de la secreción de aldosterona se relaciona sobre todo con las concentraciones sanguíneas de sodio (Na^+) y potasio (K^+), la presión arterial media y el volumen sanguíneo (volemia). El aumento de las concentraciones de potasio, el decremento de las concentraciones sanguíneas de sodio y el descenso de presión arterial y/o volemia, son factores que estimulan la liberación de aldosterona, mientras que lo opuesto la inhibe (figura 15-12). Se sabe que las concentraciones sanguíneas elevadas de potasio también tienen un efecto directo en la corteza suprarrenal en cuanto a la estimulación de la síntesis y secreción de aldosterona.

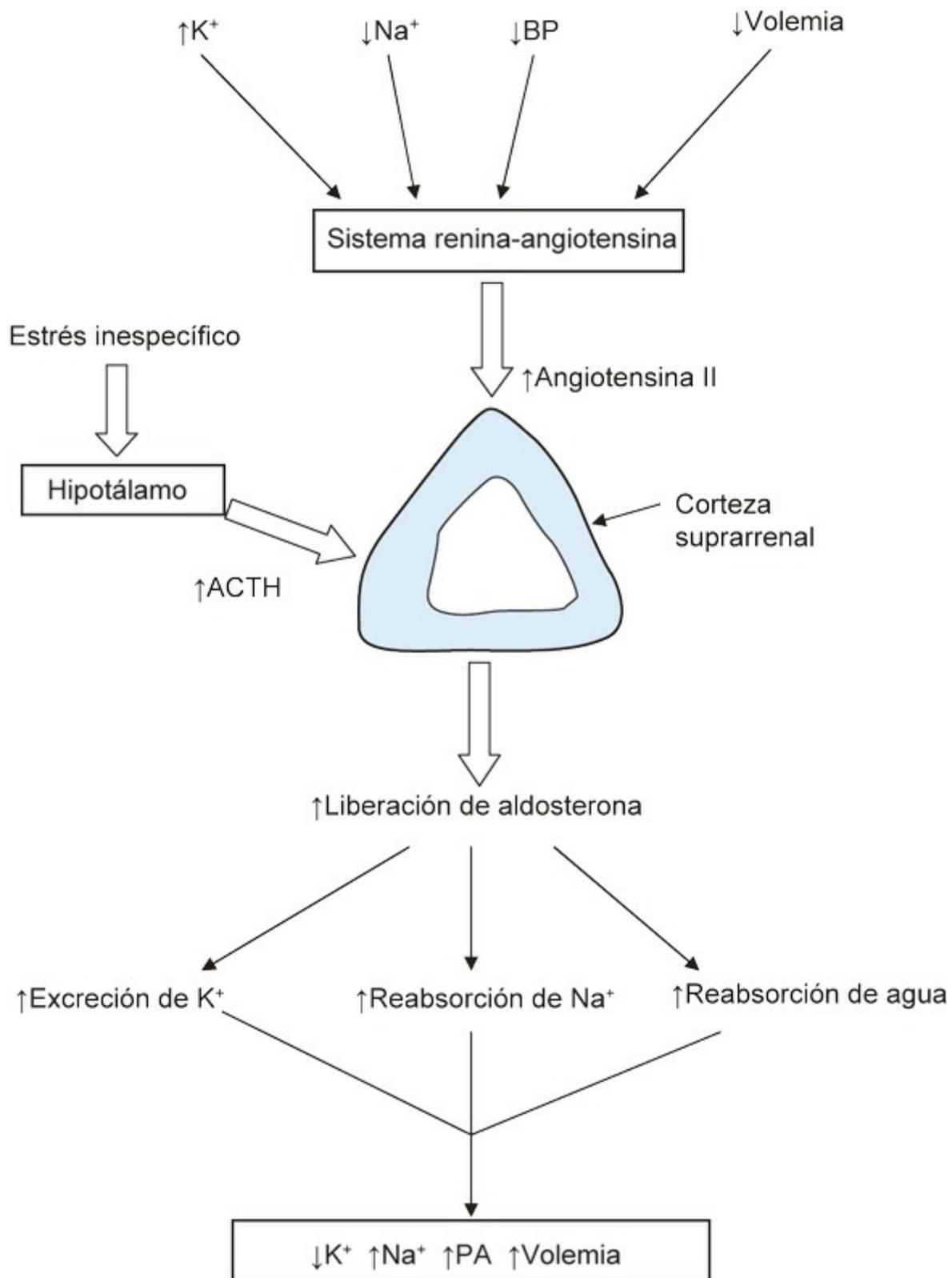


Figura 15-12. Control de la secreción de sistema renina-angiotensina-aldosterona. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Hay varios mecanismos que regulan la liberación de aldosterona. El principal mecanismo de control es la producción de angiotensina II por el sistema renina-angiotensina en respuesta a una disminución de la presión arterial en los riñones

o un decremento del suministro de sodio a los túbulos distales renales. También se sabe que las concentraciones sanguíneas elevadas de potasio y bajas de sodio tienen un efecto directo sobre la corteza suprarrenal y estimulan la liberación de mineralocorticoides. Sin embargo, en respuesta a un factor de estrés inespecífico intenso, la liberación hipotalámica de CRH estimula un aumento en la liberación de ACTH. Este aumento de ACTH produce a su vez un ligero aumento en la liberación de aldosterona, lo que lleva a un leve incremento en la volemia y la presión arterial, que ayuda a mantener el suministro de oxígeno y nutrientes a los tejidos.

Glucocorticoides

Al parecer, no hay en el cuerpo una célula que no tenga receptores para las hormonas glucocorticoides. Las hormonas glucocorticoides tienen varios efectos:

- Influyen en el metabolismo de la mayoría de las células.
- Promueven el almacenamiento de glucógeno en el hígado.
- Durante el ayuno prolongado, estimulan la generación de glucosa.
- Incrementan la glucemia.
- Ayudan a conferir resistencia a los factores de estrés.
- Potencian el efecto vasoconstrictor de las catecolaminas.
- Reducen la permeabilidad del endotelio vascular.
- Promueven la reparación de tejidos dañados al promover la degradación de proteína almacenada para crear aminoácidos.
- Suprimen el sistema inmunitario.
- Suprimen procesos inflamatorios.

Algunas hormonas glucocorticoides son:

- Cortisol (hidrocortisona).
- Cortisona.
- Corticosterona.

Sólo el cortisol se secreta en cantidades significativas. En condiciones normales se libera con un patrón circadiano (relacionado con sueño-vigilia), en su mayor parte poco después de que la persona despierta, y la más baja cantidad se libera antes y poco después de comenzar a dormir.

La liberación de cortisol es estimulada por ACTH de la adenohipófisis. La ACTH libera colesterol del citoplasma celular, que es modificado para sintetizar las hormonas esteroideas. La secreción de ACTH es regulada por la liberación de CRH del hipotálamo. Los valores crecientes de cortisol tienen un efecto de retroinhibición tanto en el hipotálamo como en la hipófisis, al inhibir la liberación ulterior de CRH y de ACTH. Sin embargo, este sistema de retroinhibición puede ser superado por un estrés fisiológico agudo (p. ej., traumatismo, infección o hemorragia) o estrés mental. El aumento de la actividad del sistema nervioso simpático en respuesta a un estrés agudo induce una mayor liberación de CRH, y por tanto ocurre un incremento significativo en la ulterior producción de cortisol (figura 15-13).

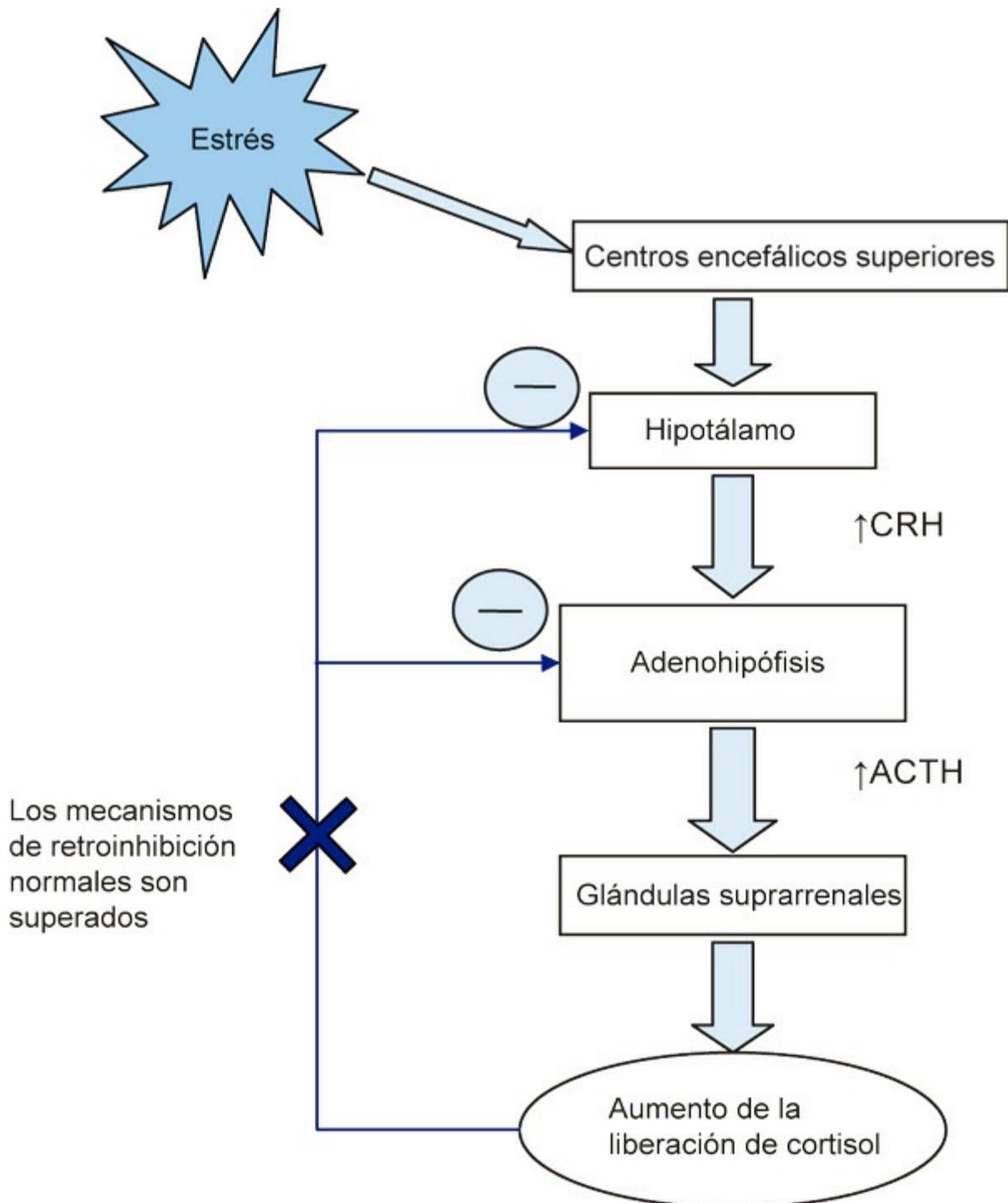


Figura 15-13. Respuesta del sistema endocrino al estrés. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Consideraciones clínicas

Esteroides glucocorticoides y enfermedades inflamatorias

Las hormonas esteroideas glucocorticoides sintéticas se prescriben mucho para suprimir la inflamación en enfermedades como la artritis, colitis ulcerosa y accesos agudos de asma grave. Sin embargo, después de tomar esteroides glucocorticoides como la prednisolona durante un tiempo prolongado (excepto en inhaladores para asma), el tratamiento debe reducirse de manera gradual, no suspenderse de golpe. En ensayos se ha demostrado que

un tratamiento breve (5 días) con dosis altas de prednisona (60 mg) causa alguna supresión de la síntesis de ACTH en niños, pero en este caso no se requiere una suspensión gradual de los esteroides para prevenir el hiposuprarrenalismo. Sin embargo, se considera que debe advertirse a estos pacientes sobre los posibles síntomas de hiposuprarrenalismo y aconsejarseles que soliciten atención médica especializada si se presentan estos síntomas (Crowley *et al.*, 2014).

El uso constante de esteroides sintéticos para el tratamiento prolongado de una enfermedad inflamatoria causa un decremento en la producción de esteroides por la corteza suprarrenal (debido quizá a una menor secreción de CRH y ACTH por retroinhibición del hipotálamo e hipófisis), y la suspensión repentina del esteroide puede dejar al paciente con valores reducidos de esteroides glucocorticoides en la sangre y ocasionar una crisis de hiposuprarrenalismo potencialmente letal. Por ello, se recomienda al paciente reducir de manera gradual la dosis de esteroides a fin de permitir que el hipotálamo, hipófisis y glándulas suprarrenales reaccionen a las concentraciones sanguíneas decrecientes de esteroides.

Debe insistirse al paciente sobre la necesidad de apegarse al esquema prescrito de cualquier medicación con esteroides y la orientación sobre qué hacer en caso de enfermedad gastrointestinal que impida que el paciente tome los esteroides prescritos. Además, el paciente debe portar todo el tiempo una “tarjeta de esteroides” azul en la que se detallen dosis y tipo de esteroides que toma, de modo que los profesionales de la salud puedan reaccionar de manera apropiada, incluso si el paciente está inconsciente.

Páncreas

El páncreas es un órgano alargado que se encuentra junto a la primera parte del intestino delgado (duodeno). Consiste en dos tipos de tejido diferentes. La mayor parte del páncreas es tejido exocrino, con sus conductos relacionados. Este tejido produce y secreta un líquido rico en enzimas digestivas en el intestino delgado. Dispersos en todo el tejido exocrino hay muchos grupos pequeños de células llamados islotes pancreáticos (islotes de Langerhans). Estos islotes son el sitio de las células endocrinas del páncreas. Cada islote tiene tres tipos principales de células, cada uno de los cuales produce una hormona diferente:

- Células α , que secretan glucagón.
- Células β , el tipo más abundante de los tres, que secretan insulina.
- Células δ , que secretan somatostatina.

Los diferentes tipos celulares se distribuyen en un patrón fijo en cada islote, con las células β en la porción central, rodeadas por células α y δ . Los islotes están muy vascularizados, lo cual asegura un tránsito rápido de las hormonas hacia el torrente sanguíneo. Aunque los islotes sólo representan 1 a 2% de la masa del páncreas, reciben alrededor del 10 al 15% del flujo sanguíneo pancreático. El páncreas está inervado por los sistemas nerviosos parasimpático y simpático, y es claro que la estimulación nerviosa influye en la secreción de insulina y glucagón.

Manejo de medicamentos

Diabetes mellitus tipo 2

Jorge es un varón de 56 años de edad a quien hace poco se le diagnosticó diabetes mellitus tipo 2. En los últimos meses ha sentido sed creciente, y también se siente cansado todo el tiempo. Jorge se ha rehusado a ir con el médico, y considera que no pasa nada malo con él, y en cualquier caso no le gusta importunar al médico. Durante una revisión habitual de salud la enfermera práctica realiza una prueba de tira reactiva con la orina de Jorge y descubre que tiene una concentración elevada de glucosa. Se hace el diagnóstico de diabetes mellitus tipo 2; además de orientarlo sobre cambios en su modo de vida y alimentación, Jorge recibe una prescripción de metformina.

La metformina es un antidiabético que se toma por vía oral y se usa como fármaco de primera línea para el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2. Actúa reduciendo la cantidad de glucosa producida por el hígado. En un intento de evitarle efectos secundarios gastrointestinales el médico general ha decidido prescribir a Jorge una dosis relativamente baja de metformina y luego aumentarla de manera gradual. Si Jorge no tolera la metformina debido a efectos secundarios gastrointestinales, los lineamientos actuales sugieren un tratamiento de prueba con metformina de absorción prolongada (*National Institute for Health and Care Excellence, 2009*).

Insulina

La insulina es bien conocida por su efecto para reducir la glucemia. Lo hace:

- Facilitando la entrada de glucosa en músculo, tejido adiposo y varios otros tejidos. Debe hacerse notar que encéfalo e hígado no requieren insulina para facilitar la captación de glucosa.
- Estimulando el hígado para que almacene glucosa en la forma de glucógeno.

Sin embargo, además de sus efectos en la glucosa, se sabe que la insulina interviene en el metabolismo de proteínas y minerales. Finalmente, la insulina participa en el metabolismo de los lípidos. Como ya se dijo, la insulina promueve la síntesis de glucógeno en el hígado. A medida que la acumulación de glucógeno en el hígado aumenta (hasta 5% de la masa total del hígado), la ulterior síntesis de glucógeno se suprime. La captación adicional de glucosa se desvía entonces a la producción de ácidos grasos, y la insulina inhibe la degradación de grasa en el tejido adiposo y facilita la producción de triglicéridos a partir de glucosa para el almacenamiento en estos tejidos.

Desde una perspectiva del cuerpo en su totalidad, la insulina tiene un efecto ahorrador de grasa porque promueve el uso de glucosa en lugar de ácidos grasos y estimula el almacenamiento de grasa en el tejido adiposo.

La estimulación de la síntesis y secreción de insulina es sobre todo una respuesta al aumento de la glucemia, pero los aumentos en los valores sanguíneos de aminoácidos y ácidos grasos también tienen un efecto estimulante. Algunos estímulos neurales, por ejemplo la vista y el olor de la comida, aumentan la secreción de insulina. El páncreas es inervado por los sistemas nerviosos simpático y parasimpático, y la estimulación nerviosa influye en la secreción de insulina (y glucagón).

Cuando la glucemia disminuye hay un decremento correspondiente en la producción y secreción de insulina. Cuando los valores de insulina en la sangre disminuyen, la síntesis de glucógeno en el hígado se reduce y las enzimas que degradan glucógeno se activan. La vida media de la insulina es de unos 5 min, después de lo cual se destruye en el hígado.

Manejo de medicamentos

Insulina

Existen más de 20 tipos de insulina disponibles, en cuatro formas básicas. Hay tres factores importantes que deben considerarse al prescribir y usar los distintos tipos de insulina:

1. Cuánto tardan en empezar a actuar (inicio de acción).
2. Cuándo tienen su máximo efecto (tiempo de acción máxima).
3. Cuánto duran en el cuerpo (duración).

La decisión acerca de cuál insulina prescribir a un paciente se basa en múltiples factores,

incluidos el modo de vida del paciente y su glucemia.

En el hospital, la insulina suele almacenarse en refrigeración, pero una insulina fría incrementa el dolor de la inyección y hace más lenta la absorción, de modo que para mayor comodidad del paciente y eficiencia de la insulina es aconsejable sacarla del refrigerador cuando menos 1 h antes de inyectarla.

Plumas de insulina

Debe recomendarse a los pacientes que no almacenen las plumas de insulina en el refrigerador (en especial con la aguja colocada). Cuando un líquido se enfría se contrae, y cuando se calienta se expande. Esto en especial es peligroso con las insulinas turbias. Sacar una insulina turbia del refrigerador y permitirle calentarse en una pluma con la aguja colocada puede causar el escape de la insulina o del líquido portador inerte, con lo que cambiará la potencia del preparado de insulina. El escape hacia la aguja también provoca la formación de cristales de insulina, que pueden bloquear la aguja y modificar la presión de la inyección o la cantidad inyectada.

Llevar una pluma (y su aguja) de la temperatura ambiente al refrigerador ocasiona la contracción del líquido y el desarrollo de burbujas de aire. Éstas son compresibles, y alargan el tiempo de inyección. Incluso después del conteo estándar de 10 s, es posible que aún salga insulina de la aguja cuando se le extrae.

Los cartuchos de pluma sin abrir se almacenan en el refrigerador, pero una vez insertados en una pluma de insulina ésta debe mantenerse en el refrigerador. La insulina puede almacenarse a temperatura ambiente durante 30 días (Strachan y Frier, 2013).

Insulinas premezcladas

Cuando un paciente (o una enfermera) van a administrar una insulina turbia o premezclada, es importante que la pluma o la ampolla se giren de extremo a extremo 10 veces (sin agitar); en caso contrario es posible que la insulina no se mezcle en forma correcta (Frid *et al.*, 2010). La investigación ha demostrado que los pacientes a menudo se confunden con esta técnica, y el mezclado real de la insulina por los pacientes presenta una gran variación que puede estar afectando el control glucémico (Brown *et al.*, 2004).

Consideraciones clínicas

Hipoglucemia

La hipoglucemia es una preocupación constante en el paciente con diabetes, y dado que muchos incidentes de hipoglucemia se relacionan con el ejercicio, el temor a la hipoglucemia impide que muchos pacientes con diabetes realicen ejercicio con regularidad (Younk *et al.*, 2011). Esto es desafortunado, ya que el ejercicio es una de las piedras angulares para la prevención de complicaciones de la diabetes y también ayuda al control de la diabetes al coadyuvar a la pérdida de peso y promover la salud vascular (reduciendo el riesgo de ataques cardíacos y accidente cerebrovascular).

Los lineamientos actuales sugieren que la promoción del ejercicio en pacientes con diabetes mellitus tipo 1 o tipo 2 debe realizarse junto con una orientación sobre el manejo de los cambios en la glucemia relacionados con el ejercicio. El paciente debe medir su glucemia antes y después del ejercicio y una vez más varias horas después. Los pacientes con glucemia muy alta o muy baja deben evitar el ejercicio mientras no se normalice su glucosa sanguínea (Kourtoglou, 2011). Puede aconsejarse al paciente omitir la dosis de insulina previa al ejercicio o consumir una carga de carbohidrato (como una bebida con carbohidratos) antes del ejercicio (American Diabetes Association, 2010).

Debe alentarse a todo paciente con diabetes que esté considerando realizar ejercicio como parte del manejo de su diabetes, pero siempre debe indicársele que consulte con su endocrinólogo para que lo oriente sobre la intensidad y el tiempo del ejercicio.

Glucagón

El glucagón tiene una importante función para el mantenimiento de la glucemia normal, en particular porque el encéfalo y las neuronas sólo pueden usar glucosa como combustible.

El glucagón tiene el efecto opuesto a la insulina en la glucemia (figura 15-14):

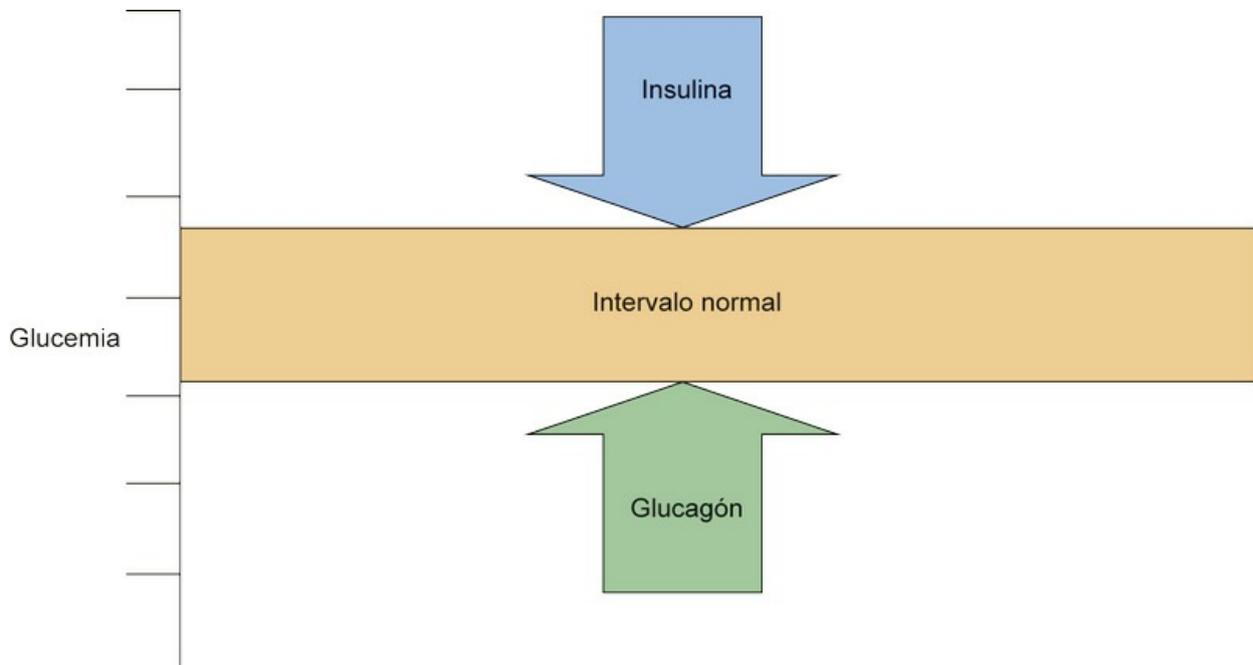


Figura 15-14. Efectos de la insulina y el glucagón sobre la glucemia.

- Estimula la degradación del glucógeno almacenado en el hígado.
- Activa la gluconeogénesis hepática (la creación de glucosa a partir de sustratos como aminoácidos).
- Tiene un efecto menor en promover la degradación de triglicéridos en el tejido adiposo al aportar ácidos grasos como combustible para la mayoría de las células, y por tanto conservar glucosa para encéfalo y neuronas.

La producción y secreción de glucagón se estimulan en respuesta a una reducción en la glucemia y un aumento en los valores sanguíneos de aminoácidos (p. ej., después de una comida alta en proteína). También se ha observado que los valores sanguíneos de glucagón aumentan en respuesta al ejercicio, pero no es claro si esto es una respuesta al ejercicio mismo o a la reducción de la glucemia causada por el ejercicio.

La producción y secreción de glucagón se inhiben cuando aumenta la glucemia; sin embargo, se desconoce si esto es un efecto directo de los valores de glucosa o una respuesta a los valores crecientes de insulina, dado que se sabe que ésta inhibe la liberación de glucagón.

Somatostatina

La somatostatina es liberada por una amplia gama de tejidos. Su efecto fisiológico en el páncreas es inhibir la liberación de insulina y glucagón; lo hace de manera paracrina, esto es, la hormona se libera y ejerce su efecto localmente. Se desconoce el mecanismo exacto de control de esta hormona.

Conclusión

En este capítulo se presentó el sistema endocrino, que es diverso y uno de los dos sistemas corporales necesarios para el mantenimiento de la homeostasis. Aunque a menudo funciona en estrecha colaboración con el sistema nervioso, el sistema endocrino con frecuencia se encarga del control de procesos a más largo plazo. Las principales funciones del sistema endocrino se basan en cuatro áreas principales:

- Mantenimiento de la homeostasis (en especial el equilibrio hidroelectrolítico).
- Metabolismo.
- Crecimiento y desarrollo.
- Respuestas al estrés.

La secreción de hormonas puede ser estimulada por impulsos nerviosos, otras hormonas o cambios en los valores corporales de iones y nutrientes; y la ulterior regulación de la liberación de hormonas a menudo se realiza después en ciclos de retroinhibición. Las hormonas sólo pueden tener un efecto en una célula si esa célula tiene un receptor para la hormona; sin embargo, al parecer no hay en el cuerpo una célula que no se vea influida por el sistema endocrino.

Glosario

Ácidos grasos. Grasas alimentarias que se han degradado en sustancias que pueden ser absorbidas en la sangre.

Aminoácido. Compuesto químico que es el bloque de construcción básico de proteínas y enzimas.

Carbohidratos. Grupo de compuestos (incluidos almidones y azúcares) que son una fuente de energía importante.

Catecolaminas. Compuestos entre los que se incluyen la adrenalina, noradrenalina y dopamina.

Citoplasma. Parte de la célula contenida dentro de la membrana celular.

Corteza. Capa más externa de un órgano.

Corticosteroides. Hormonas esteroideas liberadas por la corteza suprarrenal, que se subdividen en glucocorticoides y mineralocorticoides.

Cortisol. Principal esteroide glucocorticoide liberado por la glándula suprarrenal.

Electrólitos. Grupo de sustancias químicas que incluye al sodio, potasio, calcio, cloruro y bicarbonato.

Estimulación hormonal. Estimulación de una glándula que induce un cambio en la actividad de esa glándula en respuesta a hormonas liberadas por otros órganos.

Estimulación humoral. Estimulación de una glándula que induce un cambio en la actividad de esa glándula en respuesta a concentraciones cambiantes de determinados iones y nutrimentos en la sangre.

Ganglio. Masa o grupo de células nerviosas.

Glándula. Cualquier órgano que secreta sustancias no relacionadas con su propio funcionamiento interno.

Glucocorticoides. Grupo de hormonas que ejercen su principal efecto en el metabolismo de los carbohidratos.

Glucógeno. Carbohidrato (azúcar complejo) formado a partir de glucosa.

Glucogenólisis. Degradación de glucógeno en glucosa.

Gluconeogénesis. Creación de nueva glucosa a partir de sustancias distintas de los carbohidratos.

Hiperglucemia. Concentraciones sanguíneas elevadas de glucosa.

Hipoglucemia. Concentraciones sanguíneas bajas de glucosa.

Hipovolemia. Concentraciones bajas de líquidos en la circulación.

Hormona. Sustancia que es liberada en la sangre por el sistema endocrino y que ejerce control fisiológico sobre el funcionamiento de células u órganos distintos de los que la produjeron.

Ion. Átomo o grupo de átomos que portan una carga eléctrica.

Lípidos. Grupo de compuestos orgánicos que incluye grasas, aceites, ceras, esteroides y triglicéridos.

Médula. Parte más interna de un órgano.

Mineralocorticoides. Grupo de hormonas liberadas por las glándulas suprarrenales que ejercen su efecto en el equilibrio hidroelectrolítico del organismo.

Ósmosis. Movimiento de agua a través de una barrera semipermeable desde una

zona con baja concentración de una sustancia a otra con alta concentración de esta sustancia.

Osteoclasto. Tipo de célula que degrada tejido óseo y de este modo libera el calcio usado en la formación del hueso.

Regulación a la alza. Aumento de los receptores hormonales de una célula, por lo común en respuesta a bajas concentraciones circulantes de una hormona.

Regulación a la baja. Reducción del número de receptores hormonales de una célula, a menudo la respuesta de una célula a periodos prolongados de altos valores circulantes de una hormona.

Sustrato. Molécula en la que actúa una enzima.

T₄ libre. Tiroxina sanguínea no unida a proteínas.

Triglicérido. Forma de ácido graso que tiene tres componentes gliceróles.

Bibliografía

- American Diabetes Association (2010) Standards of medical care in diabetes – 2010. *Diabetes Care* **33**(Supplement 1): S11–S61.
- Brown, A., Steel, J.M., Duncan, C., Duncan, A. and McBain, A.M. (2004) An assessment of the adequacy of suspension of insulin in pen injectors. *Diabetic Medicine* **21**(6): 604–608.
- Ballinger, A.E., Palmer, S.C., Nistor, I., Craig, J.C. and Strippoli, G.F.M. (2014) Calcimimetics for secondary hyperparathyroidism in chronic kidney disease patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews* **12**:CD006254. doi: 10.1002/14651858.CD006254.pub2.
- Clare, C. (2009) The endocrine system and associated disorders. In Nair, M. and Peate, I. (eds), *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd; pp. 318–348.
- Crowley, R.K., Argese, N., Tomlinson, J.W. and Stewart, P.M. (2014) Central hypoadrenalism. *Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism* **99**(11): 4027–4036.
- Economidou, F., Douka, E., Tzanela, M., Nanas, S. and Kotanidou, A. (2011) Thyroid function during critical illness. *Hormones* **10**(2): 117–124.
- Frid, A., Hirsch, L., Gaspar, R., Hicks, D., Kreugel, G., Liersch, J. and Strauss, K. (2010) New injection recommendations for patients with diabetes. *Diabetes & Metabolism* **36**: S3–S18.
- Friedman, B. and Cirulli, J. (2013) Hyponatremia in critical care patients: frequency, outcome, characteristics, and treatment with the vasopressin V2 receptor antagonist tolvaptan. *Journal of Critical Care* **28**(2): 219.e1–219.e12.
- Gross, P. (2012) Clinical management of SIADH. *Therapeutic Advances in Endocrinology and Metabolism* **3**(2): 61–73. doi: 10.1177/2042018812437561.
- Guyton, A.C. and Hall, J. (2006) *Textbook of Medical Physiology*, 11th edn. Philadelphia, PA: Elsevier Saunders.
- Jenkins, G.W., Kemnitz, C.P. and Tortora, G.J. (2007) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Jenkins, G. and Tortora, G.J. (2013) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*, 3rd edn. Singapore: John Wiley & Sons.
- Kourtoglou, G.I. (2011) Insulin therapy and exercise. *Diabetes Research and Clinical Practice* **93**: S73–S77.
- Liubinas, S.V., Porto, L.D. and Kaye, A.H. (2011) Management of recurrent Cushing's disease. *Journal of Clinical Neuroscience* **18**(1): 7–12.
- McDermott, M.T. (2013) *Endocrine Secrets*, 6th edn. Philadelphia, PA: Elsevier Health Sciences.
- Marieb, E.N. and Hoehn, K. (2007) *Human Anatomy and Physiology*, 7th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Mero, A., Campisi, M., Favero, M., Barbera, C., Secchieri, C., Dayer, J.M. and Pasut, G. (2014) A hyaluronic acid–salmon calcitonin conjugate for the local

- treatment of osteoarthritis: chondro-protective effect in a rabbit model of early OA. *Journal of Controlled Release* **187**: 30–38.
- Nair, M. and Peate, I. (2009) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nelson, J.M. and Robinson, M.V. (2012) Hyponatremia in older adults presenting to the emergency department. *International Emergency Nursing* **20**(4): 251–254.
- National Institute for Health and Care Excellence (2015) *Type 2 Diabetes in Adults: Management*. NICE Guideline NG28. <http://www.nice.org.uk/guidance/ng28> (accessed 3 December 2015).
- Strachan, M.W. and Frier, B.M. (2013) *Insulin Therapy: A Pocket Guide*. London. Springer.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Weetman, A. (2013) Current choice of treatment for hypo- and hyperthyroidism. *Prescriber* **24**(13–16): 23–33.
- Younk, L.M., Mikeladze, M., Tate, D. and Davis, S.N. (2011) Exercise-related hypoglycemia in diabetes mellitus. *Expert Review of Endocrinology & Metabolism* **6**(1): 93–108. doi:10.1586/eem.10.78.

Lecturas adicionales

British Thyroid Foundation

<http://www.btf-thyroid.org/>

La British Thyroid Foundation es un organismo no lucrativo dedicado a ayudar a personas con trastornos tiroideos y sus familias. El sitio de red incluye videos de pacientes y guías de referencia rápida sobre enfermedades tiroideas.

Addison's Disease Self Help Group

<http://www.addisons.org.uk/>

El Addison's Disease Self Help Group es un organismo sin fines de lucro con el objetivo de proporcionar información sobre la enfermedad de Addison a pacientes, familiares y profesionales. Hay muchas publicaciones en el sitio, incluida una guía específicamente dirigida a enfermeras.

Diabetes UK

<http://www.diabetes.org.uk/>

Diabetes UK es la principal organización no lucrativa de Reino Unido para personas con diabetes. Además de proporcionar información a pacientes y sus familias también es un grupo de presión, que hace campañas para mejorar la atención de los pacientes y reunir fondos para la investigación de la diabetes.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. Los receptores para hormonas a base de aminoácidos se encuentran:
 - (a) En la pared celular.
 - (b) Dentro de la célula.
 - (c) Dentro del núcleo celular.
 - (d) Ninguna de las anteriores.
2. ¿Qué estimula la liberación de glucagón desde el páncreas?
 - (a) Glucemia elevada.
 - (b) Alta concentración sanguínea de aminoácidos.
 - (c) Altos valores de calcio en la sangre.
 - (d) Altos valores de sodio en la sangre.
3. ¿En qué parte del cuerpo se ubican las glándulas suprarrenales?
 - (a) Tórax.
 - (b) Atrás de la glándula tiroides.
 - (c) Junto al estómago.
 - (d) Arriba de los riñones.
4. La concentración de una hormona en la célula objetivo es determinada por:
 - (a) El ritmo de producción hormonal.
 - (b) El ritmo de suministro de la hormona.
 - (c) La vida media de la hormona.
 - (d) Todo lo anterior.
5. Adrenalina y noradrenalina se liberan en respuesta a la estimulación del:
 - (a) Sistema nervioso parasimpático.
 - (b) Sistema nervioso simpático.
 - (c) Sistema nervioso enteral.
 - (d) Sistema nervioso somático.
6. La conexión entre el hipotálamo y la adenohipófisis es:
 - (a) Linfática.
 - (b) Neural.
 - (c) Vascular.
 - (d) Humoral.
7. ¿Cuántas glándulas paratiroides tiene la persona promedio?
 - (a) 2.
 - (b) 4.
 - (c) 6.
 - (d) 8.
8. La hormona tiroidea requiere que se produzca(n):
 - (a) Aminoácidos.
 - (b) Yodo.
 - (c) Lípidos.
 - (d) Proteínas.
9. ¿Cuáles células del páncreas producen insulina?
 - (a) α .

- (b) β .
 - (c) δ .
 - (d) γ .
10. La ACTH es secretada por:
- (a) El lóbulo posterior de la hipófisis.
 - (b) La adenohipófisis.
 - (c) El hipotálamo.
 - (d) La glándula suprarrenal.

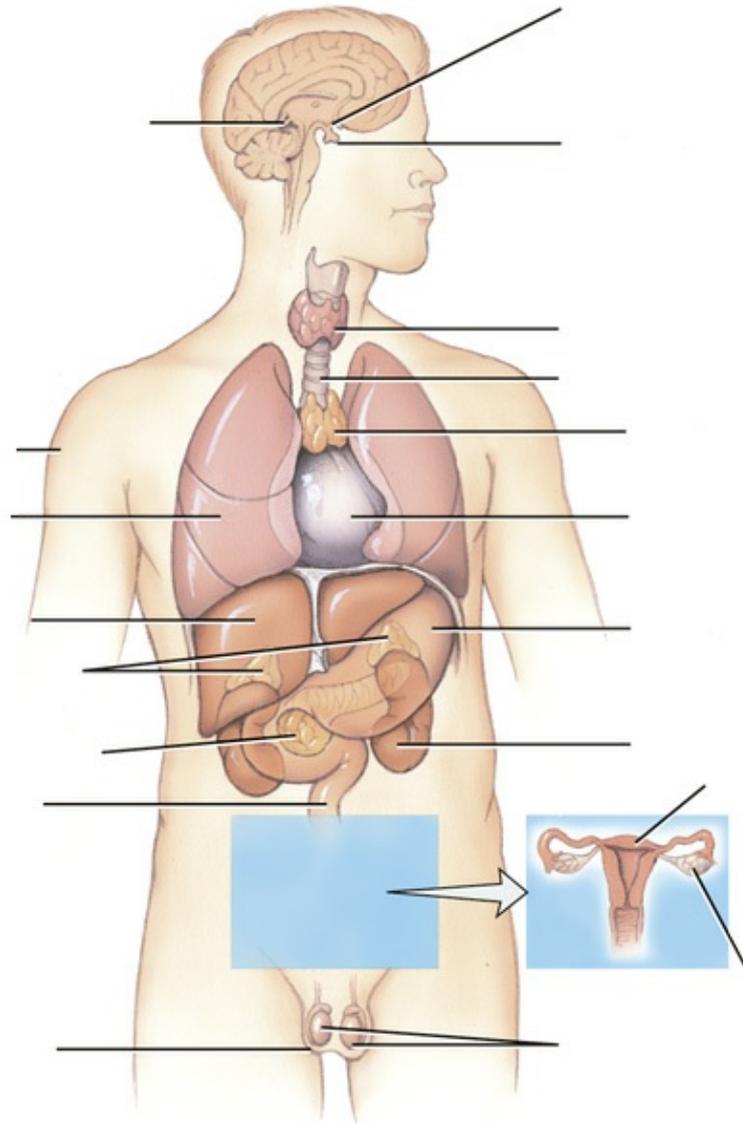
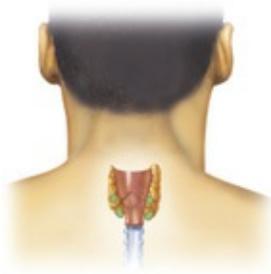
Falso o verdadero

1. La vasopresina es liberada por la adenohipófisis.
2. Los gonadotropos secretan luteotropina.
3. La folitropina estimula la producción de espermatozoides.
4. La T_4 fija en la sangre tiene un efecto negativo en la liberación de T_4 .
5. La glándula tiroidea puede almacenar T_4 hasta por 100 días.
6. Se requiere yodo para la producción de la hormona tiroidea.
7. El calcitriol es liberado por los riñones.
8. La aldosterona representa 75% de los mineralocorticoides.
9. Las células α del páncreas secretan glucagón.
10. La insulina promueve la degradación de la grasa.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

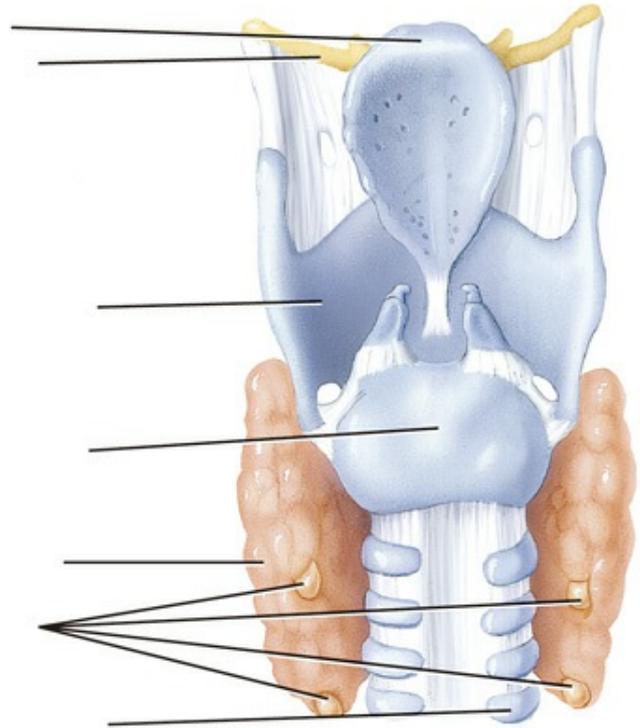
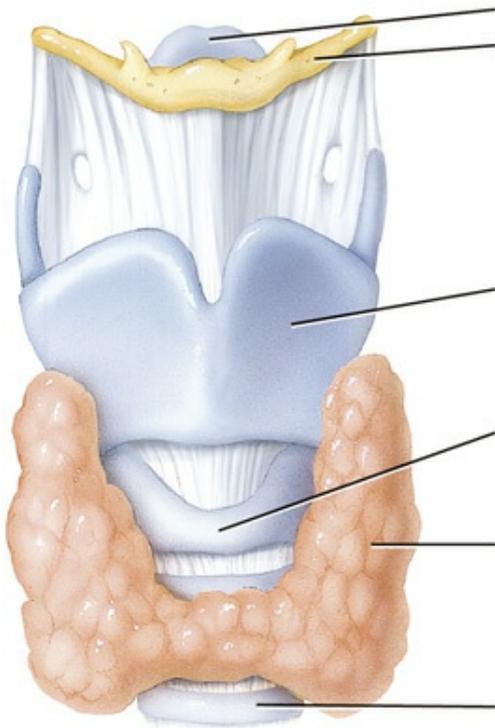
Paratiroides (atrás de la glándula tiroidea), Glándula pineal, Piel, Pulmón, Hígado, Glándulas suprarrenales, Páncreas, Intestino delgado, Escroto, Hipotálamo, Hipófisis, Glándula tiroidea, Tráquea, Timo, Corazón, Estómago, Riñón, Útero, Ovario, Testículos



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

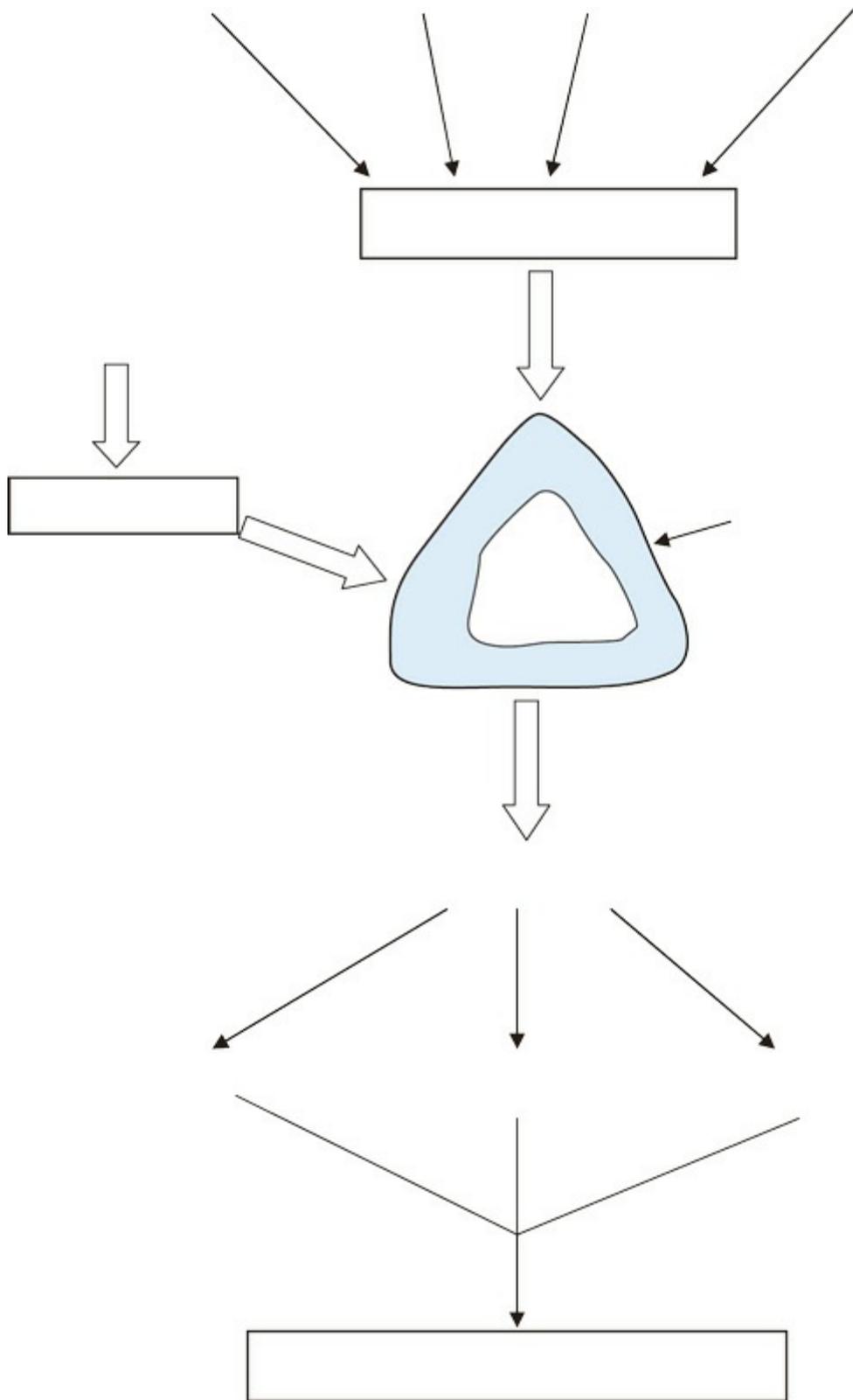
Laringe, Glándula tiroides, Epiglotis, Hueso hioides, Cartílago tiroides (manzana de Adán), Cartílago cricoides, Glándula tiroides, Paratiroides (4), Cartílago traqueal



Rotule el diagrama 3

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

$\uparrow K^+$, $\downarrow Na^+$, $\downarrow PA$, $\downarrow Volemia$, Sistema renina-angiotensina, Estrés inespecífico,
 $\uparrow Angiotensina\ II$, Hipotálamo, $\uparrow ACTH$, Corteza suprarrenal, \uparrow Liberación de
aldosterona, \uparrow Excreción de K^+ , \uparrow Reabsorción de Na^+ , \downarrow Reabsorción de agua,
 $\downarrow K^+$, $\uparrow Na^+$, $\uparrow PA$, $\uparrow Volemia$



Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | Z | S | X | T | A | I | D | E | M | A | D | I | V | C | P | N | J | H | H |
| A | J | B | B | G | W | J | T | O | F | K | G | Y | P | H | H | E | O | G | C |
| G | L | U | C | O | G | E | N | O | U | O | L | H | S | T | U | U | Q | R | R |
| L | O | J | I | E | S | Z | O | X | C | N | A | C | S | H | R | R | O | A | O |
| U | B | R | V | W | E | X | O | C | R | I | N | E | O | Q | D | A | L | V | A |
| C | U | A | U | S | A | N | T | M | Y | M | D | N | T | D | G | L | I | E | A |
| A | L | F | V | H | N | H | O | W | L | A | U | B | S | U | M | H | T | S | I |
| G | O | V | N | C | I | G | U | R | E | K | L | L | G | A | K | P | B | U | N |
| O | F | I | V | H | X | H | I | S | E | B | A | O | A | T | E | R | C | E | S |
| N | H | V | O | Y | O | P | I | T | U | I | T | A | R | I | A | A | G | M | U |
| W | H | I | I | J | R | R | P | D | V | H | S | A | I | U | H | L | R | J | L |
| A | I | L | Q | K | I | K | B | C | H | I | P | O | D | S | E | D | O | S | I |
| N | P | C | O | R | T | I | S | O | L | P | C | W | D | I | B | O | T | R | N |
| T | M | O | J | I | D | S | C | R | E | E | E | B | O | S | P | S | P | R | A |
| O | N | R | H | U | R | L | D | T | C | R | K | U | B | I | A | T | E | J | S |
| O | M | T | S | I | B | O | S | E | C | K | Q | R | B | F | C | E | C | L | K |
| L | P | E | H | T | B | T | P | Z | B | J | N | I | N | O | U | R | E | S | L |
| H | R | X | C | I | E | E | T | A | U | Q | V | A | C | P | X | O | R | B | G |
| A | L | O | R | E | T | S | E | L | O | C | C | E | D | I | U | N | P | T | B |
| N | O | R | S | M | A | E | S | T | R | E | S | W | W | H | F | A | U | D | G |

Aldosterona, Cortisol, Graves, Insulina, Hipófisis, Amino, Exocrino, Vida media, Islote, Receptor, Beta, Glándula, Hipo, Istmo, Secreta, Colesterol, Glucagón, Hiper, Lóbulo, Estrés, Corteza, Glucógeno, Inmune, Neural, Tiroxina

Llene los espacios

La influencia de un _____ desde dentro o fuera del _____ induce la liberación de una _____ que tiene un efecto sobre el estímulo; después de esto, algún proceso del funcionamiento del órgano _____ cualquier reacción ulterior al estímulo y por tanto la liberación ulterior de la hormona por el órgano.

Objetivo, estímulo, inhibe, hormona, cuerpo

Para profundizar

1. ¿Qué efecto tiene la insulina sobre el metabolismo de los lípidos?
2. ¿Cuál es la forma más común de hormona tiroidea?

3. Nombre tres tipos celulares del páncreas.
4. ¿De qué glándula se dice a menudo que es del tamaño de un chícharo (guisante)?
5. ¿Qué diferencia a la diabetes insípida de la diabetes mellitus?

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con el sistema endocrino. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Enfermedad de Addison

Enfermedad de Cushing

Diabetes insípida

Diabetes mellitus

Enfermedad de Graves



Capítulo 16

Sistema inmunitario

Peter S Vickers

Ponga a prueba sus conocimientos previos

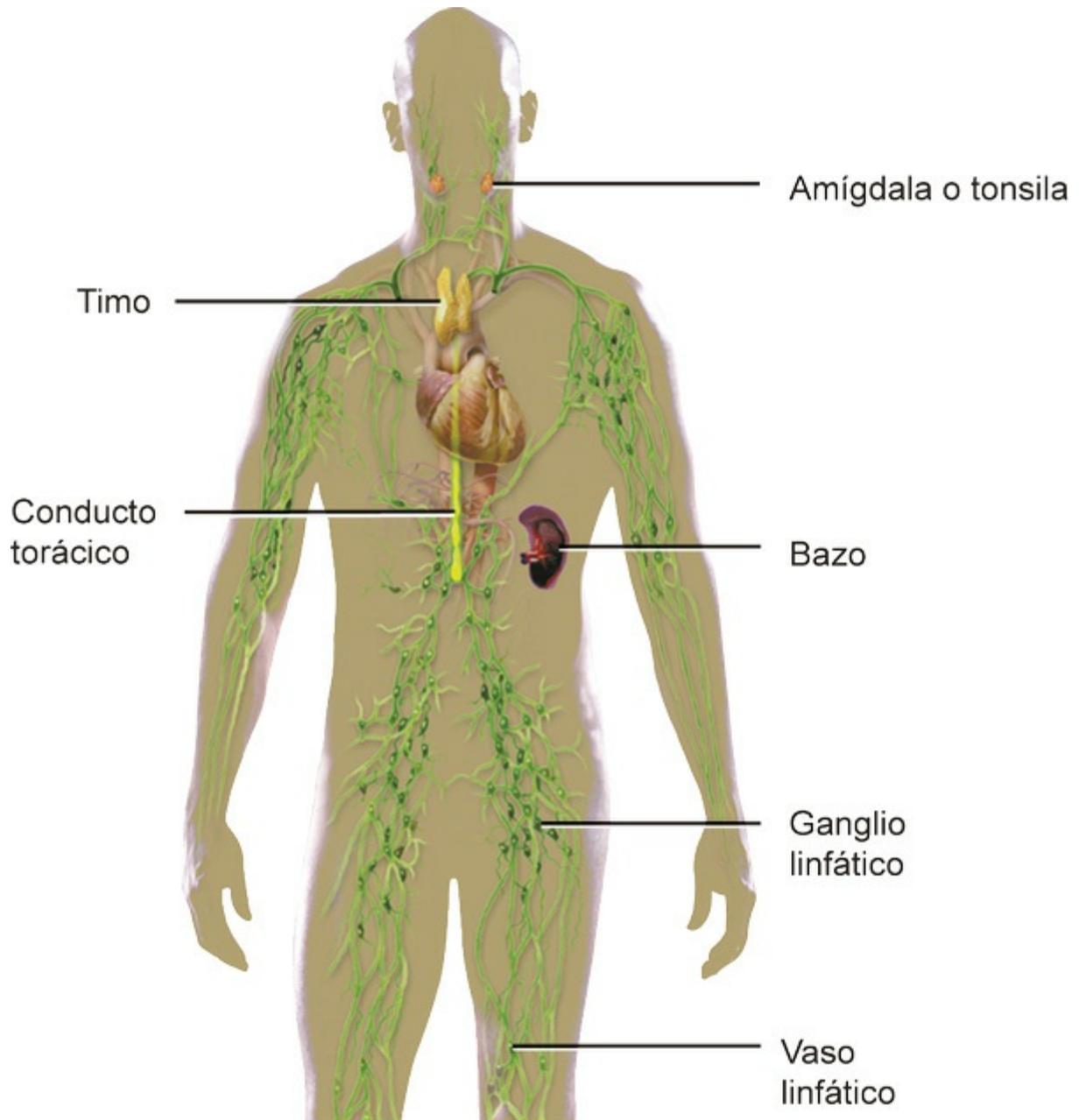
- ¿De qué manera los linfocitos T auxiliares y reguladores trabajan en conjunto para ayudar a controlar el sistema inmunitario?
- ¿Cuáles células participan en la inmunidad humoral?
- ¿Cuál es la función de la inmunoglobulina E (IgE) en el combate de las infecciones?
- Enumere los órganos del sistema linfático
- ¿Qué se entiende por fagocitosis?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Describir y analizar el desarrollo de los leucocitos y sus funciones en la inmunidad
- Explicar cómo funciona el sistema inmunitario para proteger al organismo contra las infecciones
- Enumerar las diversas barreras físicas, mecánicas y químicas que el cuerpo humano posee para evitar la entrada de microorganismos infecciosos
- Explicar el proceso de la fagocitosis
- Comprender cómo actúa la inflamación para proteger el organismo una vez que ha sufrido daños o se ha infectado
- Describir y analizar la inmunidad celular
- Describir y comentar la inmunidad humoral
- Explicar la respuesta del organismo a la infección y el fundamento teórico para las inmunizaciones

Mapa del cuerpo



Introducción

El cuerpo se encuentra bajo el constante ataque de microorganismos que podrían destruirlo. Esto podría sonar dramático, pero es verdad. Microorganismos infecciosos, toxinas y contaminantes son algunos de los agentes nocivos contra los cuales el cuerpo debe defenderse. Por fortuna, el organismo ha adquirido y desarrollado muchas defensas para repelerlos y destruirlos, y constituyen lo que se conoce como el sistema inmunitario.

La **inmunología**, se encarga del estudio del sistema inmunitario, es una rama relativamente nueva de la biociencia y la medicina. Aunque algunos de los mecanismos y componentes de la inmunidad, como los anticuerpos y glóbulos rojos, se conocen desde hace tiempo, en realidad sólo hace pocos años (los últimos 30 años) que se realiza una considerable investigación sobre el sistema inmunitario.

El rápido desarrollo de la pandemia del virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) y el síndrome de inmunodeficiencia adquirida (SIDA) en la década de 1980 fue el detonador para gran parte de esta investigación, y hoy se sabe que el sistema inmunitario es una compleja y maravillosa maquinaria que subyace a gran parte del conocimiento de la enfermedad y el proceso patológico, no sólo de aquellas enfermedades causadas por microorganismos infecciosos, sino también de muchas otras, como el cáncer, artritis, estrés, etc.

En este capítulo se muestra en qué consisten las defensas inmunitarias del cuerpo y cómo trabajan juntas para dar al individuo una oportunidad de sobrevivir a los continuos ataques de microorganismos, toxinas y contaminantes a los que está expuesto.

Desarrollo de los glóbulos sanguíneos

Los glóbulos sanguíneos que constituyen una parte importante del sistema inmunitario son los leucocitos. Todos los glóbulos sanguíneos humanos provienen de células madre multipotenciales, que tienen la capacidad de convertirse en diferentes tipos de células y, en lo que se refiere al sistema inmunitario, desarrollarse como dos ramas principales de leucocitos.

Una rama se desarrollará como la familia **mielocítica** de células, que incluye los neutrófilos y monocitos, mientras que la otra rama se convertirá en la familia **linfocítica** de células, comprendida por los linfocitos.

En la figura 16-1 se muestra el desarrollo de los leucocitos a partir de la célula madre multipotente inicial.

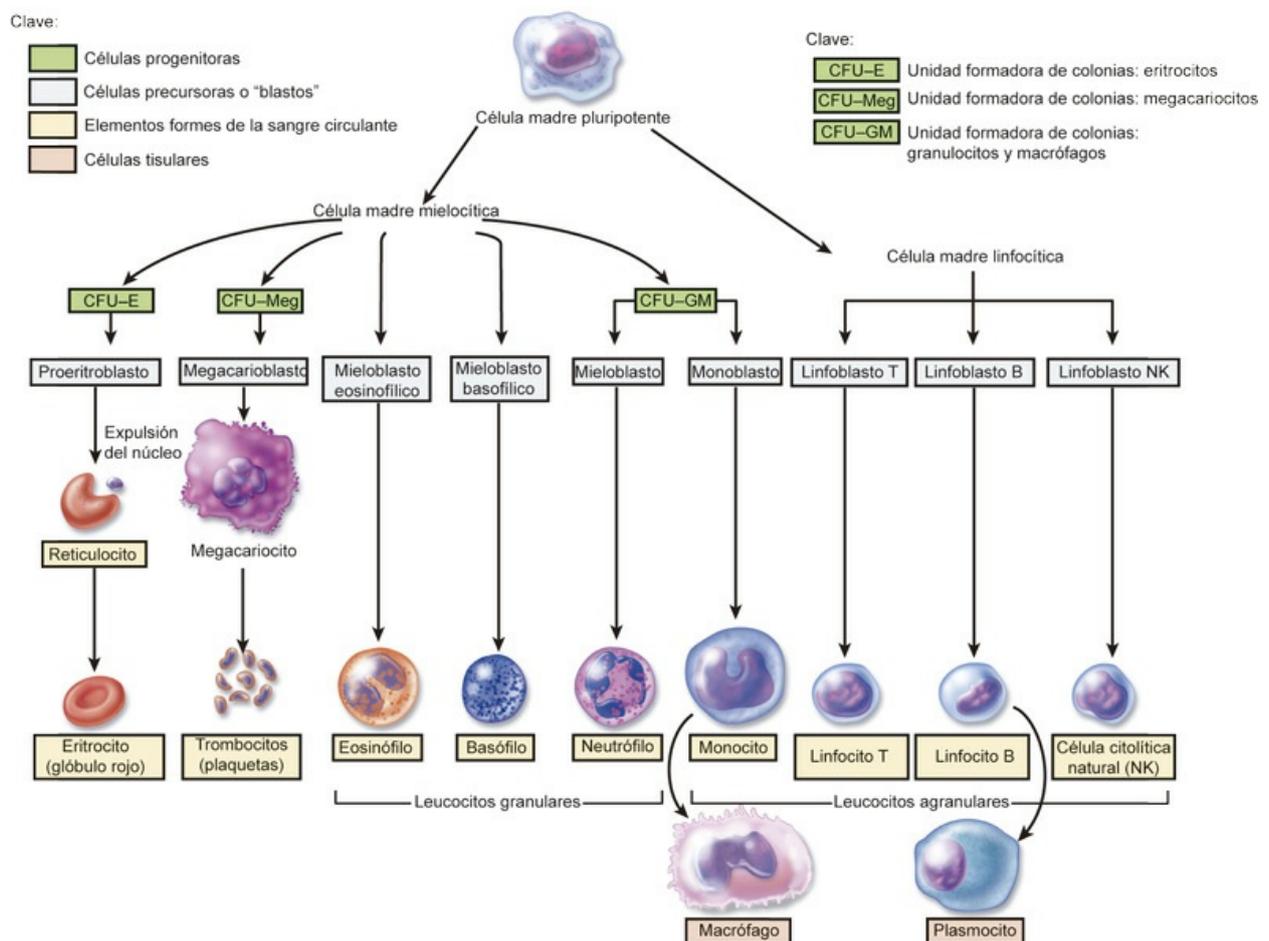


Figura 16-1. Desarrollo de los glóbulos sanguíneos. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

En el árbol genealógico de los glóbulos sanguíneos se observa que la familia mielocítica incluye los macrófagos (monocitos y macrófagos tisulares) y los granulocitos (neutrófilos, eosinófilos y basófilos). La rama linfocítica de leucocitos contiene los linfocitos T y los linfocitos B (muchos de los linfocitos B se desarrollan como células plasmáticas, o plasmocitos). Además, la rama mielocítica también incluye los megacariocitos (que dan origen a las plaquetas) y las células eritrocíticas, que se desarrollan en eritrocitos (glóbulos rojos).

Eritrocitos y plaquetas se estudian en el capítulo 7.

Dado que los leucocitos (glóbulos blancos) son los glóbulos sanguíneos relacionados directamente con el sistema inmunitario, en este capítulo no se consideran los eritrocitos, aunque son importantes para el sistema inmunitario porque llevan oxígeno a las otras células que lo componen, como las células cutáneas.

De modo similar, las plaquetas tienen una función muy importante en la defensa del cuerpo al ayudar a sellar cualquier rotura en la piel y, al hacerlo, impedir la entrada de microorganismos infecciosos. Sin embargo, en este capítulo las plaquetas sólo se tratan en lo concerniente al proceso de la inflamación.

Todos los leucocitos inician en la médula ósea como células madre, pero después de madurar lentamente a su paso por distintas etapas, se encontrarán en diferentes lugares del cuerpo, como:

- Circulación sanguínea y linfática.
- Timo.
- Bazo.
- Amígdalas y otros ganglios linfáticos.

También se hallan en todas las membranas mucosas, como el revestimiento de la boca y el tubo digestivo.

Glóbulos sanguíneos: un breve glosario (Vickers, 2007:9)

| | |
|--------------------------------------|---|
| Células madre | Tienen el potencial de diferenciarse y madurar como las distintas células del sistema inmunitario |
| Células plasmáticas | También llamadas plasmocitos; se desarrollan a partir de linfocitos B y producen las inmunoglobulinas |
| Eritrocitos | Llevar oxígeno de los pulmones a los tejidos |
| Inmunoglobulinas | También llamadas anticuerpos . Son proteínas altamente especializadas que se unen a materiales extraños, o antígenos , para que no escapen a la destrucción por otras células del sistema inmunitario |
| Leucocitos polimorfonucleares | También conocidos como fagocitos ; se encuentran en la sangre |
| Linfocitos B | Se originan en la médula ósea y se diferencian en células plasmáticas, que a su vez producen inmunoglobulinas , también llamadas anticuerpos |
| Linfocitos T auxiliares | Mientras se encuentran en el timo, estos linfocitos especializados adquieren la capacidad de ayudar a otros linfocitos a establecer una reacción inmunitaria |
| Linfocitos T | También llamados linfocitos T citotóxicos . Tienen la capacidad |

| | |
|---------------------------------|--|
| efectores | de producir sustancias que destruyen células ajenas y microorganismos, además de ayudar en el proceso de la inflamación |
| Linfocitos T reguladores | Linfocitos especializados capaces de suprimir a los linfocitos T auxiliares y contribuir a regular el sistema inmunitario desactivando su respuesta, con lo que reducen los efectos dañinos potenciales de un sistema inmunitario excesivamente reactivo |
| Linfocitos T | Se producen en la médula ósea pero migran al timo, donde maduran y aprenden a distinguir entre “lo propio” y lo “no propio” |
| Médula ósea | Lugar del cuerpo en que la mayoría de las células del sistema inmunitario se producen como células madre inmaduras |
| Monocitos | Estos leucocitos son también fagocitos y se encuentran en la sangre. Sin embargo, tienen la capacidad de migrar a los tejidos, donde se les conoce como macrófagos |
| Plaquetas | Células sanguíneas que tienen una función importante en la coagulación sanguínea |
| Timo | Órgano situado en el tórax que instruye a los linfocitos T inmaduros para que se conviertan en linfocitos T maduros, que entonces son capaces de ayudar a combatir las infecciones |

Órganos del sistema inmunitario

Los principales órganos del sistema inmunitario son todos parte del sistema linfático, y son:

- Timo.
- Bazo.
- Ganglios linfáticos.
- Tejidos linfáticos dispersos en el tubo digestivo y vías respiratorias y urinarias.

Timo

El **timo**, que se encuentra en el tórax anterior (figura 16-2) y en los bebés es un órgano relativamente grande. Se encoge (atrofia) con la edad (inmunosenescencia).

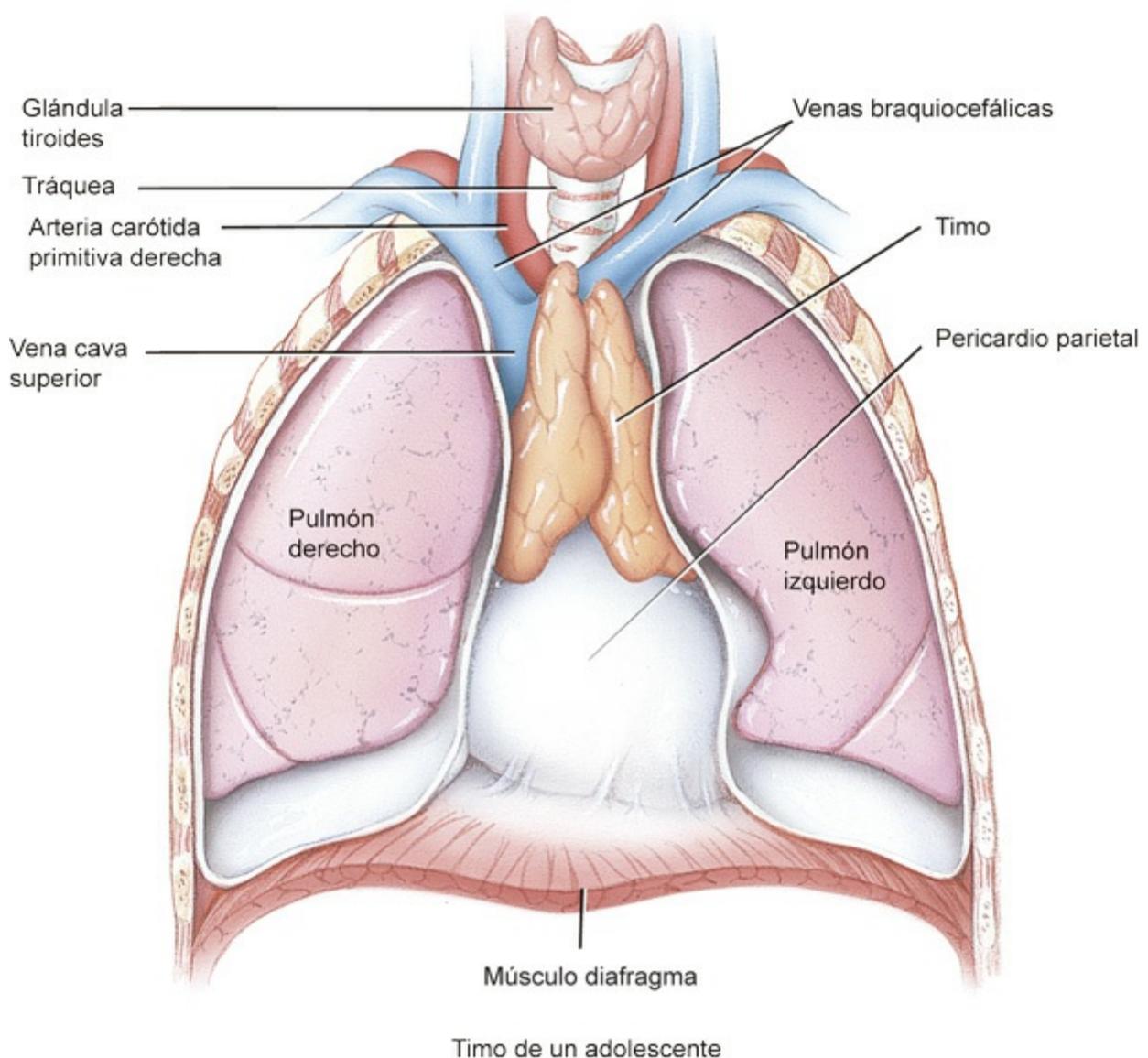


Figura 16-2. Posición del timo en el cuerpo. *Fuente:* Tortora y Derrickson

(2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Dentro del timo, determinadas células madre sanguíneas maduran y se diferencian en diversas subclases de **linfocitos T**. Además, adquieren la capacidad de reconocer y distinguir células “propias” y “no propias” (“extrañas”).

Las células “propias” se originan en el individuo que tiene ese timo, mientras que las células “extrañas” provienen de fuera del individuo, como los virus y bacterias; así, el timo puede verse como una escuela de linfocitos T en donde las células participan en experiencias de aprendizaje mientras maduran, y donde también son orientadas hacia diferentes carreras para cuando egresen de la “escuela”.

Aunque el timo comienza a atrofiarse en la pubertad, los linfocitos T continúan desarrollándose ahí durante toda la vida del individuo (Delves and Roitt, 2000; Vickers, 2005, 2007).

Sistema linfático

El sistema linfático es un conjunto especializado de **vasos linfáticos** (similares a los vasos sanguíneos) y **ganglios linfáticos**. Los vasos linfáticos contienen un líquido llamado **linfa**, que drena en los órganos del sistema linfático desde órganos cercanos. Esta linfa se origina en el plasma que escapa de los capilares sanguíneos.

Los **linfocitos** migran desde el aparato circulatorio atravesando las paredes de los capilares venosos más pequeños en el ganglio linfático. Los linfocitos pasan sólo unos pocos minutos en el torrente sanguíneo durante cada circuito de circulación por el cuerpo, pero, en contraste, pasan varias horas en el sistema linfático.

El sistema linfático puede considerarse un sistema paralelo al aparato circulatorio, pero carece de una bomba como el corazón, el cual impulsa la sangre por el cuerpo. En cambio, la linfa es agitada en todo el cuerpo por una combinación de las paredes de músculo liso de los vasos linfáticos y la flexión y relajación de músculo estriado, cuando el individuo se mueve.

El sistema linfático periférico (figura 16-3) consiste en vasos linfáticos y capilares linfáticos, así como órganos encapsulados (es decir, órganos contenidos en su propia “cápsula”).

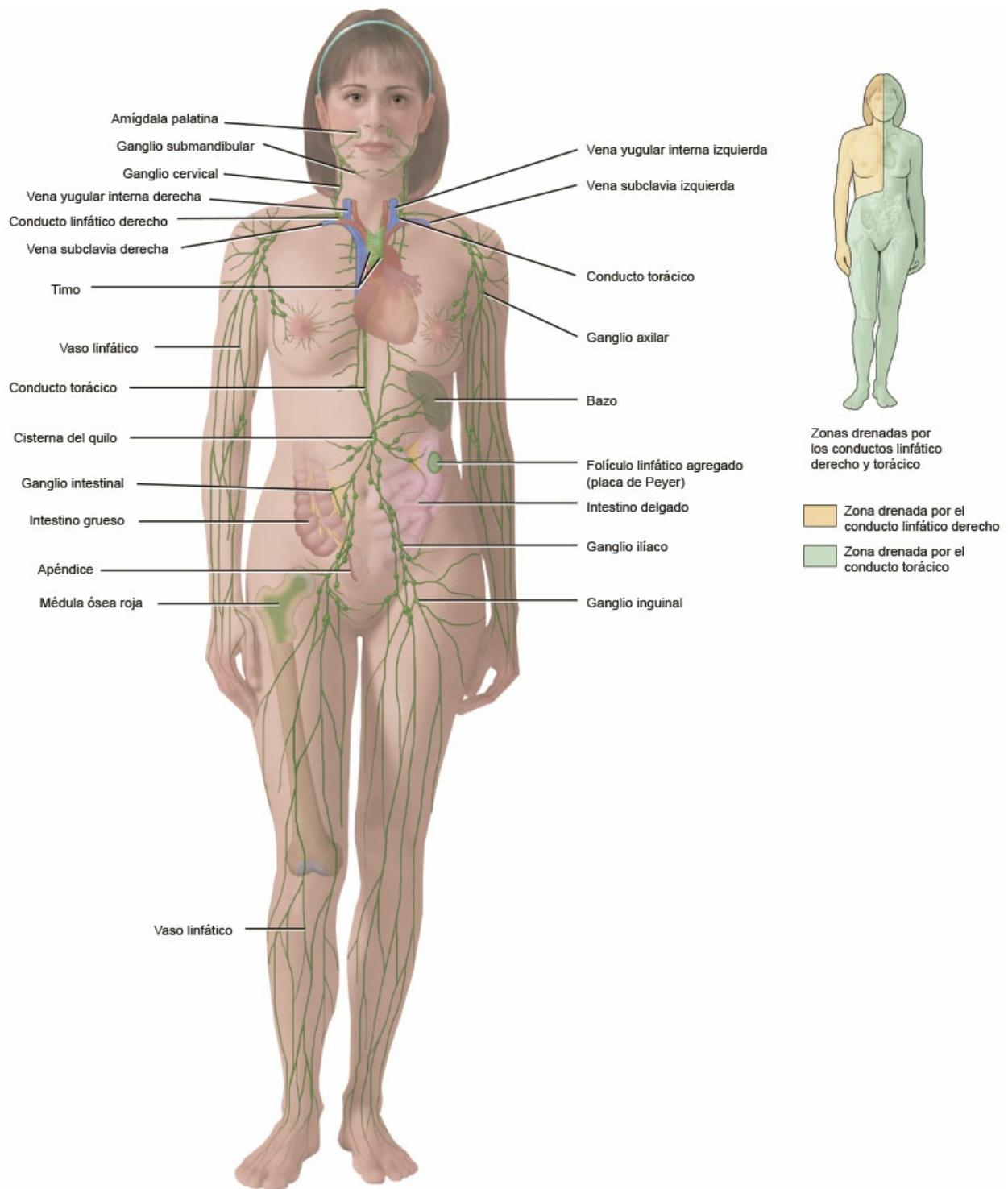


Figura 16-3. Principales componentes del sistema linfático. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Entre éstos se incluyen:

- Bazo.
- Amígdalas.
- Ganglios linfáticos.

Además, el sistema linfático incluye al **tejido linfático** no encapsulado (no

rodeado por una cápsula, sino más difuso) en el tubo digestivo, el conducto urogenital y los pulmones.

Los vasos y capilares linfáticos forman una red en todo el cuerpo y conectan los tejidos corporales con los órganos linfáticos, como el **bazo** y los ganglios linfáticos.

Los capilares linfáticos guardan algunas semejanzas anatómicas con los capilares sanguíneos, en el sentido que sus paredes consisten en una capa de **células endoteliales**. Sin embargo, las paredes de los capilares linfáticos carecen de membrana basal. Esta falta de membrana basal permite la entrada de sustancias con tamaño molecular relativamente grande, como las proteínas plasmáticas, en los capilares linfáticos entre las células de las paredes capilares.

La linfa fluye por los vasos gracias a:

- Contracción muscular en las extremidades superiores e inferiores (brazos y piernas).
- Pulsación de las arterias (causada por los latidos cardiacos).
- Presión intratorácica negativa (que extrae la linfa, como un vacío).
- Contracción rítmica en sí de los vasos linfáticos.

Finalmente, la linfa fluye hacia dos grandes conductos linfáticos. Uno de éstos es el conducto torácico, que recibe linfa de:

- Extremidades inferiores.
- Tubo digestivo.
- Brazo izquierdo.
- Lado izquierdo de tórax, cabeza y cuello.

El otro gran vaso linfático, el conducto linfático derecho, recibe linfa de:

- Extremidad torácica derecha.
- Lado derecho de cabeza, cuello y tórax.

Los dos conductos linfáticos drenan en las grandes venas del cuello, y de este modo reintegran agua y proteínas a la circulación venosa.

Ganglios linfáticos

La linfa entra en los ganglios linfáticos desde los vasos linfáticos aferentes, y de aquí pasa a las **trabéculas**. Aferente significa “que va hacia”; por lo tanto, en el caso del sistema linfático, los vasos aferentes son los que van **hacia** el ganglio linfático.

El ganglio linfático está formado por una malla de células, como una red. En esta fase la linfa contiene **antígenos** de células y tejidos infectados. Esta linfa pasa por la malla en el ganglio linfático y los antígenos quedan atrapados, como peces en una red (figura 16-4).

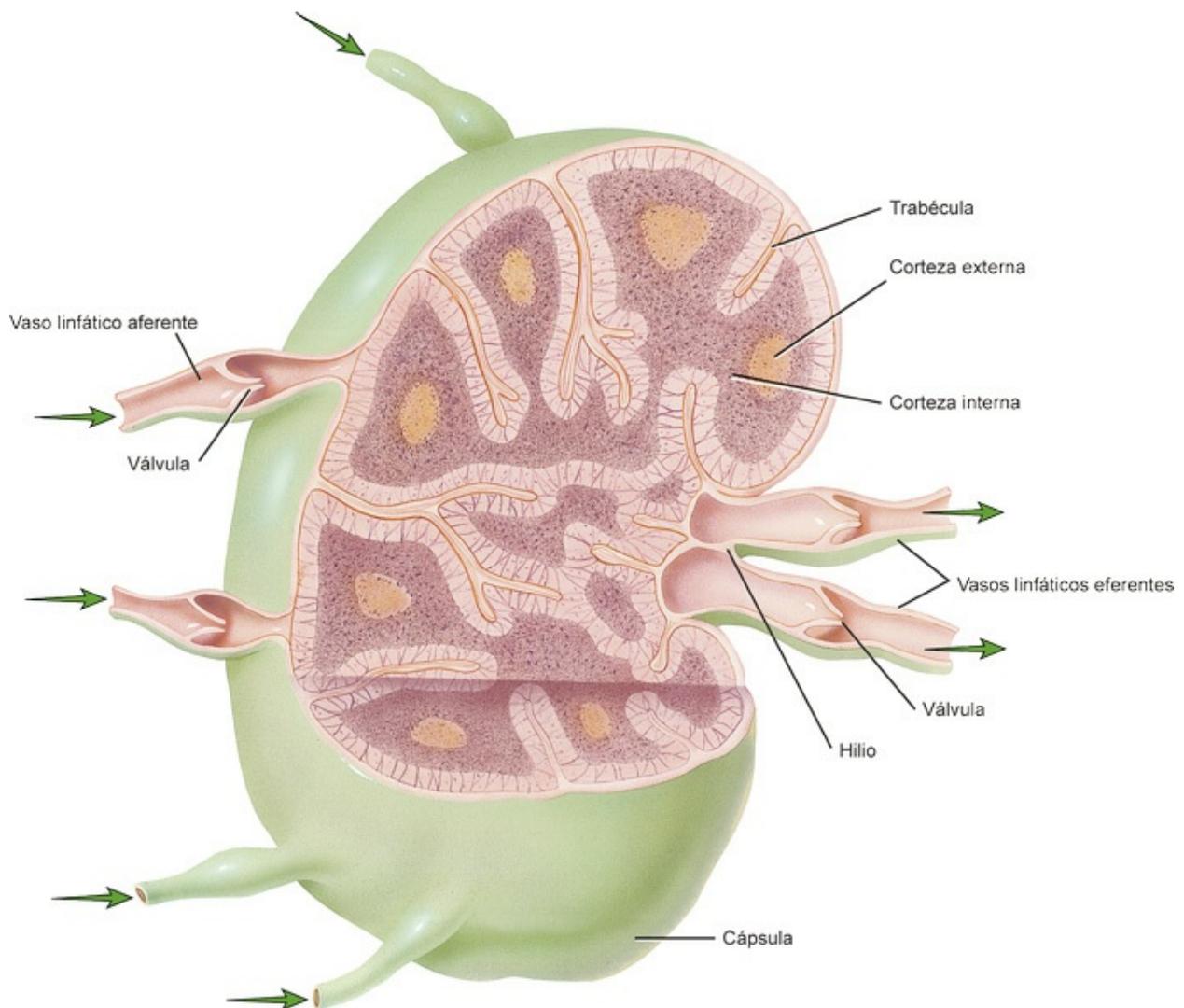


Figura 16-4. Estructura de un ganglio linfático. *Fuente:* Nair y Peate (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los antígenos que entran en el cuerpo en cualquier punto son arrastrados rápidamente a lo largo de los vasos linfáticos hacia un órgano linfático o ganglio linfático.

Dentro del ganglio linfático, los **linfocitos B** se localizan en los folículos linfáticos primarios y en los secundarios (que contienen los centros germinales), y es dentro de estos centros germinales donde los linfocitos B proliferan después de encontrar su antígeno específico y su linfocito T colaborador. Los linfocitos B que se encuentran en el centro de los folículos linfáticos secundarios están en división activa, mientras que los de la periferia son formadores de anticuerpos.

Además, en la **médula** de la glándula se encuentran grandes cantidades de **macrófagos fagocíticos** y plasmocitos productores de anticuerpos. Macrófagos y otras células presentadoras de antígeno pasan la mayor parte de su vida migrando por los tejidos hasta encontrar antígenos. Éstos son **fagocitados** (engullidos por fagocitos y digeridos) y transportados al ganglio linfático más cercano.

Los macrófagos en el ganglio linfático también encuentran antígenos atrapados dentro de la red de células reticulares, y fagocitan células muertas y bacterias.

Los linfocitos que han destruido los antígenos en los ganglios linfáticos salen entonces por el vaso linfático eferente. Eferente significa “que se aleja de”.

Consideraciones clínicas

Inmunodeficiencias secundarias

Las inmunodeficiencias secundarias son aquellos trastornos que, debido a otra enfermedad, edad, lesión, agente tóxico ambiental o tratamiento, dan por resultado una mayor susceptibilidad a las infecciones. De hecho, casi todas las enfermedades graves se relacionan con algún deterioro de uno o más componentes del sistema inmunitario.

La mayoría de las personas han oído hablar de una inmunodeficiencia secundaria específica, el SIDA, causado por el VIH, pero hay muchas otras causas de inmunodeficiencias secundarias.

Una de las principales causas de inmunodeficiencia en el mundo es la deficiencia proteínica debida a desnutrición o a trastornos como el kwashiorkor. En los países desarrollados, aparte del VIH las principales causas de inmunodeficiencias secundarias son iatrógenas (causadas por personal o tratamientos médicos). Entre éstas se incluyen las inmunodeficiencias que ocurren después del uso de esteroides o farmacoterapia citotóxica para diversas enfermedades.

Alguien con una inmunodeficiencia secundaria tendrá susceptibilidad a infecciones oportunistas, anorexia, diarrea y mayor riesgo de cáncer.

Las inmunodeficiencias secundarias se relacionan con una multitud de factores, de los cuales sólo se considerarán aquí unos pocos por razones de espacio. Algunos son:

- Infecciones: por ejemplo VIH, hepatitis, sarampión, paperas, tuberculosis (TB), rubéola congénita, citomegalovirus y mononucleosis infecciosa (fiebre glandular).
- Fármacos, por ejemplo esteroides, agentes citotóxicos e inmunosupresores, e incluso antibióticos, así como drogas, como el alcohol, cocaína y heroína.
- Estrés, incluidos el psicológico y el físico.
- Desnutrición.
- Cánceres.
- Enfermedades autoinmunitarias.
- Envejecimiento.
- Sustancias ambientales, por ejemplo bifenilos policlorados y dioxina.
- Quemaduras y otros traumatismos.
- Embarazo.
- Anestesia y cirugía (estrés).
- Radiación.

El tratamiento de las inmunodeficiencias secundarias consiste en eliminar o tratar la causa (de ser posible) y dar terapia de sostén. Por ejemplo, si la causa es una infección, entonces es necesario administrar el antimicrobiano apropiado. Si la causa es iatrógena, como fármacos o cirugía, una vez que ésta se suspende y la recuperación está en marcha, el sistema inmunitario suele mejorar por sí solo. De modo similar, si la inmunodeficiencia es causada por otras enfermedades, éstas deben tratarse. Si la causa es una desnutrición, entonces debe enfrentarse el problema que la ocasiona.

Además de eliminar la causa, se requiere terapia de sostén para ayudar a reforzar el sistema inmunitario y prevenir infecciones. Suelen ser necesarios fármacos y nutrición, cambios en el estilo de vida y, en ocasiones, aislamiento.

Las inmunodeficiencias secundarias a menudo son transitorias, y sólo suele requerirse

terapia de sostén hasta que la causa se haya tratado y el sistema inmunitario comience a recuperarse. Sin embargo, hay algunas inmunodeficiencias secundarias para las cuales esto no se aplica. La mejor conocida de éstas es el SIDA, aunque si llega a encontrarse una cura para ella se convertirá en una inmunodeficiencia transitoria.

Tejido linfático

Así como los vasos linfáticos, el sistema linfático contiene tejido linfático. Éste consiste en glándulas linfáticas (los ganglios linfáticos), que tienen aproximadamente el tamaño y la forma de un haba, y tejido linfático, que se encuentra en órganos específicos, en particular:

- Bazo.
- Médula ósea.
- Pulmones.
- Hígado.
- Otros tejidos linfáticos.

Bazo

El bazo se encuentra justo atrás del estómago y tiene aproximadamente el tamaño de un puño. Capta antígenos de la sangre para su presentación a fagocitos y linfocitos, y también recibe y elimina los eritrocitos muertos.

Para resumir, el sistema linfático (Vickers 2005, 2007):

- Habilita a los linfocitos para proteger los tejidos y vasos del cuerpo contra microorganismos infecciosos.
- Retiene los microorganismos en “trampas” para antígeno en los ganglios linfáticos y otros órganos linfáticos, y los coloca en estrecha proximidad con otras células inmunitarias.
- Esto es esencial para la comunicación célula a célula que se requiere para reclutar, dirigir y regular una inmunorrespuesta coordinada.
- Las glándulas linfáticas son los principales centros de proliferación de linfocitos y producción de anticuerpos, así como de filtración de la linfa.

Tipos de inmunidad

Hay dos tipos principales de inmunidad en el ser humano: la **innata** y la **adquirida**.

La **inmunidad innata** es la que se posee al nacer, de modo que es innata en todos los individuos. Por otra parte, la **inmunidad adquirida** no está presente al nacer, sino que es algo que se adquiere durante la vida.

La inmunidad innata es el tipo de inmunidad más antiguo y se encuentra en todos los seres vivos, mientras que la inmunidad adquirida sólo existe en los organismos más desarrollados, como el ser humano.

Otro nombre para la **inmunidad innata** es el de **inmunidad inespecífica**. Esto significa que esas defensas entran en acción sin importar cuál organismo infeccioso o no propio esté intentando atacar al huésped; por lo tanto, son inespecíficas. De modo similar, la **inmunidad adquirida** también se conoce como **inmunidad específica** porque reacciona a microorganismos específicos conocidos.

Sistema inmunitario innato

Muchas partes del cuerpo, así como los leucocitos, se combinan para constituir el sistema inmunitario innato. El sistema inmunitario innato puede dividirse en cuatro grupos, aunque algunas partes pueden usar más de una clase de defensa:

- Barreras físicas.
- Barreras mecánicas.
- Barreras químicas.
- Glóbulos sanguíneos.

Barreras físicas

Entre éstas se incluyen la **piel** y **membranas mucosas**. La piel actúa como una barrera física para impedir que microorganismos infecciosos y otros materiales lleguen a los órganos “con mayor riesgo” y menos defendidos del cuerpo. Pero la piel, además de ser una barrera física, es también una barrera química, ya que el sudor producido por la piel **tiene propiedades bactericidas** (destruye bacterias). Sin embargo, la piel también tiene puntos débiles, por ejemplo los diversos orificios que conectan el interior del cuerpo con el exterior, como la boca, nariz, abertura uretral y ano.

Barreras mecánicas

En esta categoría se incluyen los **cilios**, la **tos**, **estornudos** y **lágrimas**.

- **Cilios**: son los pequeños pelos presentes en la nariz. Se mueven constantemente desplazando microorganismos y moco hacia las adenoides (formadas por tejido linfático), donde pueden ser manejados.
- **Estornudos y tos**: actúan expeliendo cualesquiera microorganismos o agentes

irritantes fuera del cuerpo hacia la atmósfera externa. Así, si alguien tiene resfriado o tos y estornuda o tose, expulsa millones de virus hacia la atmósfera, lo cual significa que hay menos virus en el cuerpo de esa persona que pudieran empeorar el problema. Esto es muy eficaz para el individuo infectado, pero significa que ahí están todos esos virus en gotas diminutas (gotículas) suspendidas en el aire, a la espera de que alguien más llegue y los inhale al respirar, infectándose a su vez.

- **Lágrimas:** también son una barrera mecánica. Cuando alguien llora, las lágrimas arrastran partículas y microorganismos fuera de los ojos (como el chorro de agua que limpia el parabrisas de un auto). Las lágrimas son asimismo una barrera química porque contienen una enzima bactericida llamada lisozima. La lisozima es un participante importante en la sección sobre el sistema inmunitario innato.

Barreras químicas

Entre las barreras químicas están las **lágrimas**, **leche materna**, **sudor**, **saliva**, **secreciones ácidas**, incluido el **ácido estomacal**, y el **semen**.

La mayoría de estas secreciones contienen enzimas bactericidas, como lisozima, o anticuerpos. Además, las bacterias no pueden sobrevivir en secreciones ácidas.

Glóbulos sanguíneos

Además de las defensas antes mencionadas, el sistema innato incluye determinados glóbulos sanguíneos, a saber **leucocitos** (glóbulos blancos) y **trombocitos** (plaquetas).

Los leucocitos que intervienen en el sistema inmunitario innato se conocen como:

- **Neutrófilos**, que representan hasta 60% de los leucocitos del cuerpo.
- **Monocitos** y **macrófagos tisulares**, que constituyen un total de 3% de los leucocitos.
- **Eosinófilos**, que sólo ascienden al 1% de los leucocitos.
- **Basófilos**, que son apenas el 1% de los leucocitos.

Los **neutrófilos**, **eosinófilos** y **basófilos** también se conocen como **granulocitos**, porque cuando se ven con un microscopio potente dan el aspecto de estar llenos de pequeños gránulos. De hecho, estos gránulos son vacuolas, o espacios vacíos, dentro de las células, y son muy importantes cuando se considera una función específica de estos leucocitos, la **fagocitosis**.

Glóbulos sanguíneos del sistema inmunitario

Éstos, como ya se dijo, son los leucocitos. Tienen tres actividades principales:

- **Fagocitosis:** ésta es la destrucción de microorganismos infecciosos y material

ajeno, engulléndolos y luego digiriéndolos. Esto se explica un poco más adelante en este capítulo.

- **Citotoxicidad:** **cito** significa célula y **toxicidad** significa capacidad de actuar como agente tóxico o, en términos inmunitarios, “letalidad”. Así, la citotoxicidad es la acción que algunos tipos de leucocitos realizan para destruir microorganismos infecciosos dañando sus membranas celulares (véase también Sistema del complemento).
- **Inflamación:** los leucocitos intervienen mucho en la respuesta de los tejidos corporales a las infecciones y lesiones.

Existen muchas otras funciones de los leucocitos en el sistema inmunológico, y se considerarán a lo largo de este capítulo, pero por ahora la atención se centra en las tres funciones anteriores.

Fagocitosis

Las células que constituyen la inmunidad innata tienen dos funciones principales: son **fagocitos** o **células mediadoras**.

Los **fagocitos** son células que devoran los microorganismos infecciosos que han logrado capturar a través de las otras defensas de la inmunidad innata ya mencionadas.

Hay dos tipos de fagocitos: **fagocitos mononucleares** y **fagocitos polimorfonucleares**.

Entre los fagocitos mononucleares hay monocitos y macrófagos. Se llaman **mononucleares** porque su núcleo es una masa redondeada (esfera) única cuando se observa al microscopio; en otras palabras, tienen un solo núcleo bien definido. Los **neutrófilos**, por otra parte, son los fagocitos polimorfonucleares.

Cuando se observa al microscopio, el núcleo de los neutrófilos se ve como una masa que puede asumir muchas formas, de aquí el nombre **poli** (muchas) **morfo** (forma) **nucleocito** (núcleo celular);— en otras palabras, polimorfonucleocito.

La función de una célula fagocítica es **fagocitar**, o “comer”, todo microorganismo infeccioso o materia extraña que rebase las barreras externas. Este proceso se conoce como **fagocitosis**, y funciona de la siguiente forma:

- **Etapa 1.** Una bacteria se aproxima a un fagocito, en este caso a un neutrófilo (figura 16-5), y es inmovilizada por **opsoninas: factores del complemento y anticuerpos (inmunoglobulinas)**. Las opsoninas preparan a la bacteria para ser digerida por el fagocito empujando firmemente aquella a éste, de modo que no escape.

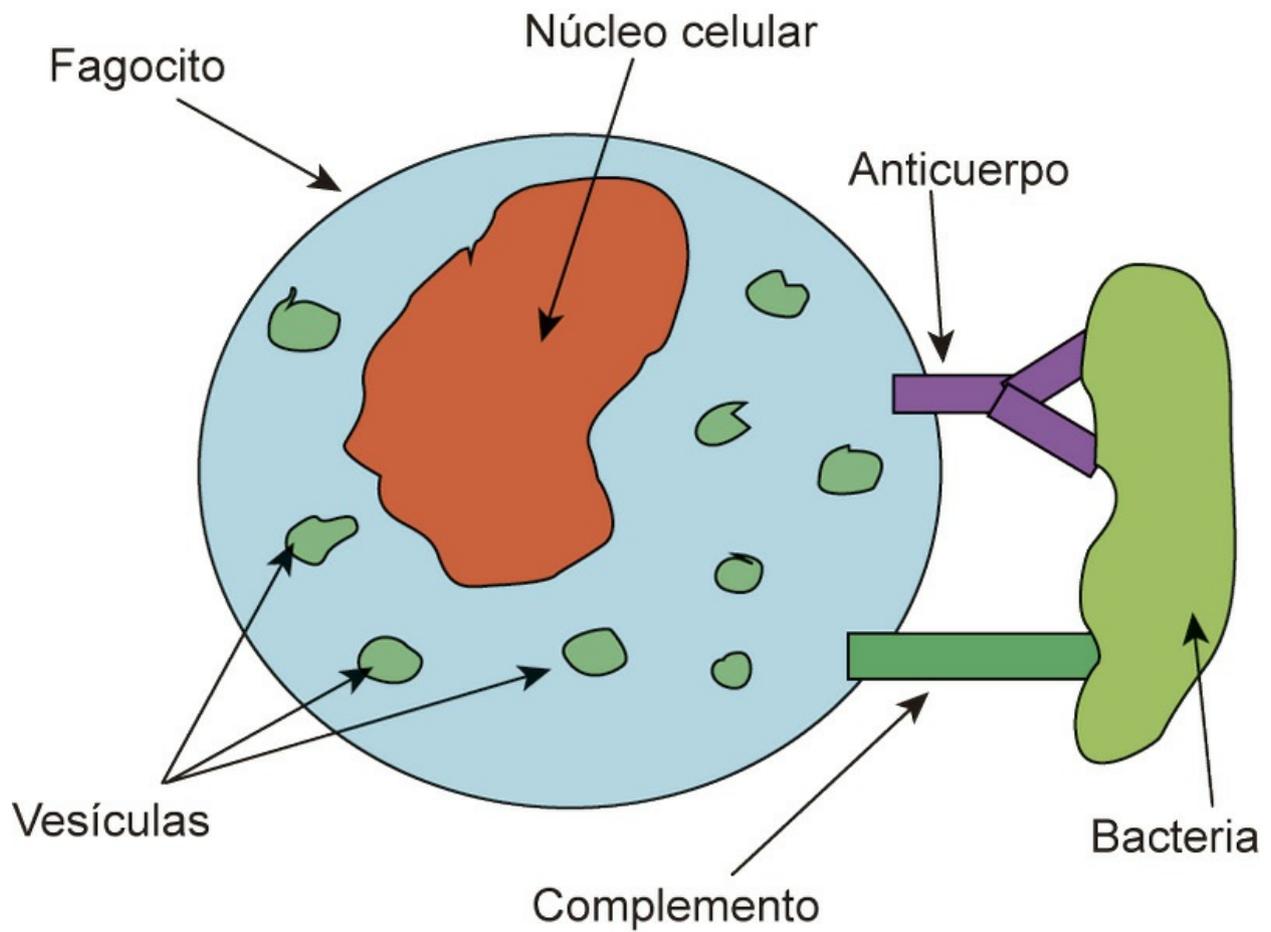


Figura 16-5. Fagocitosis (etapa 1).

- **Etapa 2.** Cuando la bacteria se aproxima al neutrófilo, éste reconoce que es “materia no propia” y emite **pseudópodos** (falsos brazos) y que comienzan a rodear la bacteria (figura 16-6).

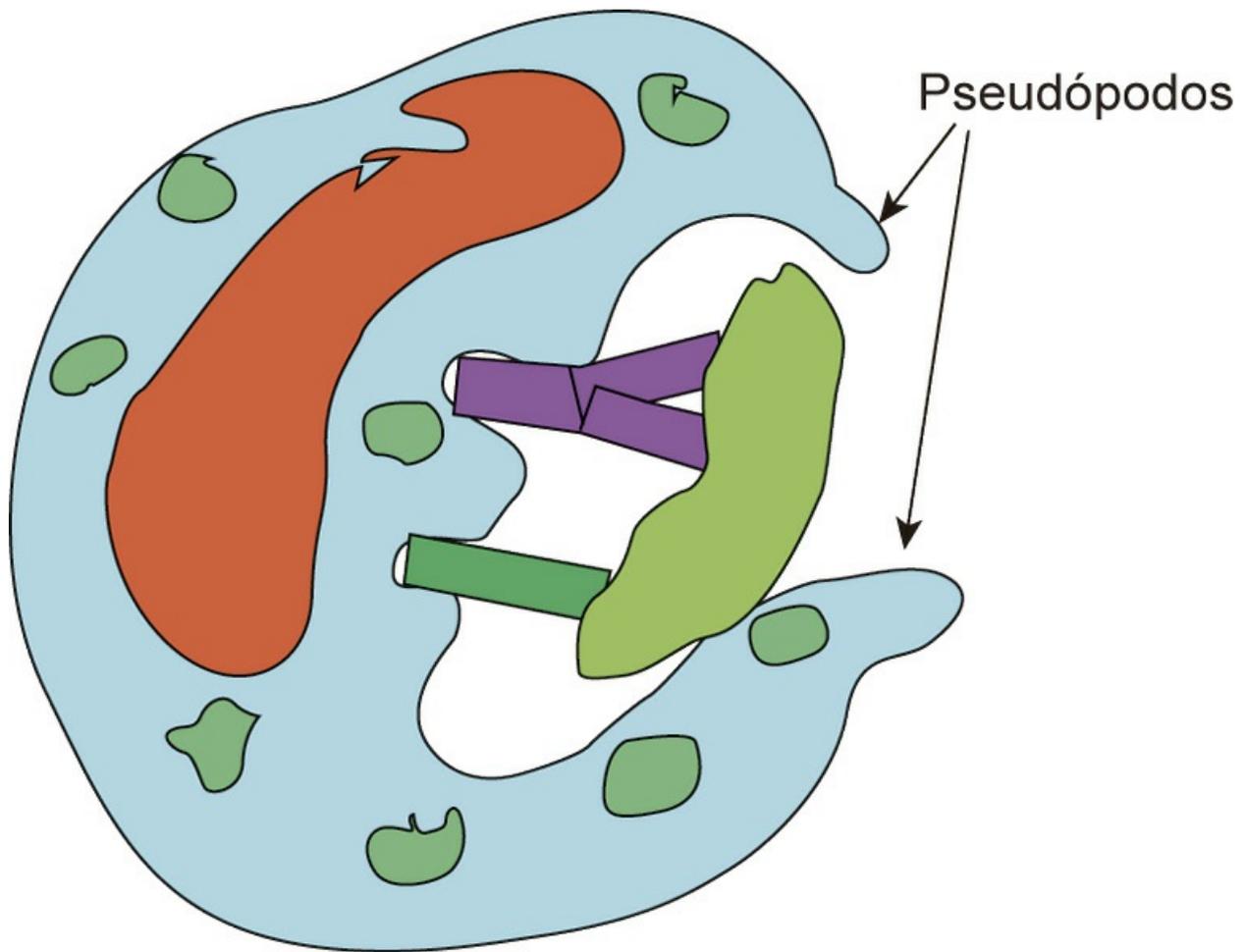


Figura 16-6. Fagocitosis (etapa 2).

- **Etapa 3.** Una vez que está rodeada por el fagocito, la bacteria entra en contacto con las vacuolas (como ya se mencionó). Una vacuola rodea por completo a la bacteria y la mata, y luego la fragmenta por medio de enzimas bactericidas como la lisozima. El fagocito usa entonces lo que le sirva de la bacteria para sus propias funciones (crecimiento, nutrición, etc.) y expulsa las partes que no puede usar. Éste es el proceso de la fagocitosis (figura 16-7).

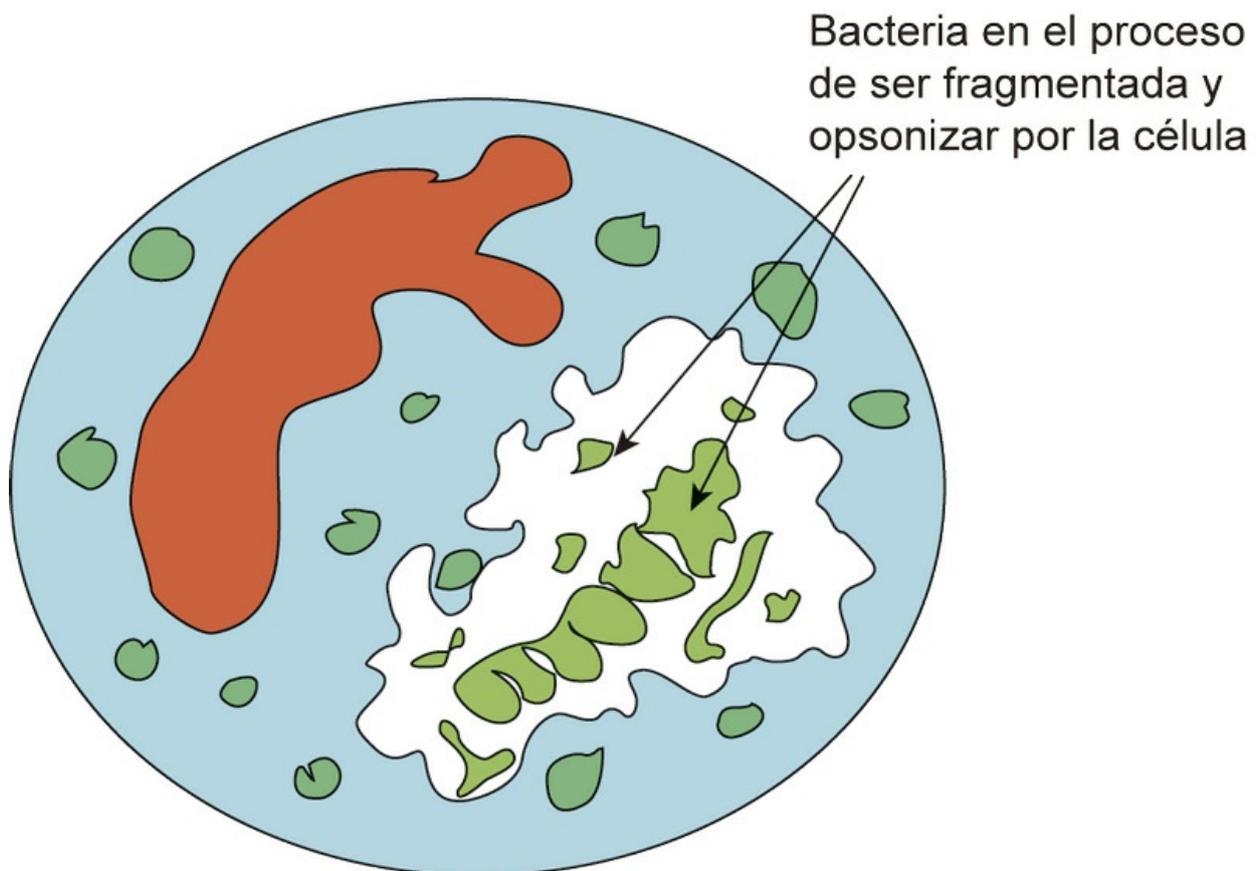


Figura 16-7. Fagocitosis (etapa 3).

Además de bacterias, los fagocitos también eliminan pus y otra materia infectada, así como cualquier otra sustancia no propia que llegue a entrar en el cuerpo.

Citotoxicidad

La citotoxicidad es la capacidad de dañar o matar células. Muchas sustancias son tóxicas para las células, incluidas sustancias químicas, componentes del sistema inmunitario, virus, bacterias y algunos tipos de venenos (p. ej. los de determinadas serpientes).

Dentro del sistema inmunitario, los linfocitos T capaces de destruir otras células se conocen como linfocitos T citotóxicos, y producen proteínas que intervienen en la destrucción de células objetivo. Los linfocitos T citotóxicos (células Tc) actúan programando sus células objetivo (a menudo células infectadas por virus, o incluso células cancerosas o precancerosas) para que se sometan a la apoptosis (suicidio celular).

Inflamación

La inflamación es la reacción inmediata del cuerpo a una lesión o daño tisular. Puede ser causada por:

- Traumatismo físico.
- Calor intenso.
- Sustancias irritantes.
- Infección por virus, hongos o bacterias (Marieb y Hoehn, 2013).

El proceso inflamatorio implica el desplazamiento de leucocitos, complemento y otras proteínas del plasma hacia un sitio de infección o lesión (Roitt y Rabson, 2000).

Hay cuatro **signos y síntomas cardinales de inflamación** en el sitio de la lesión:

- Tumefacción (también llamada edema).
- Dolor.
- Calor.
- Enrojecimiento.

También puede haber:

- Náusea.
- Sudación.
- Elevación del pulso.
- Hipotensión arterial.
- Posible pérdida de la conciencia.

Estos últimos signos y síntomas son la respuesta del cuerpo al dolor y choque, pero en términos de inmunología, los que importan son los cuatro primeros, y es por ello que se les conoce como los “cuatro signos cardinales de la inflamación”.

Según Nairn y Helbert (2007), la inflamación puede definirse clínicamente como la presencia de tumefacción, enrojecimiento y dolor. Aunque la inflamación causa dolor y otros problemas, en realidad tiene propiedades y efectos benéficos. Éstos son:

- Previene la propagación a tejidos cercanos de microorganismos infecciosos y otros agentes nocivos.
- Elimina patógenos muertos y detritos celulares.
- Prepara para la reparación del daño (Marieb and Hoehn, 2013).

Después de lesión u otros daños al cuerpo, ocurren tres procesos al mismo tiempo:

- **Degranulación de mastocitos.** Los **mastocitos** o células cebadas son células tisulares que contienen gránulos en su citoplasma. Estos gránulos contienen, entre otras sustancias, **serotonina** e **histamina**, que se liberan en los tejidos durante el proceso de degranulación. Estas sustancias causan algunos de los signos y síntomas de la inflamación, pero también intervienen en los otros dos

procesos para producir los signos y síntomas inflamatorios completos.

- **Activación de cuatro sistemas de proteínas plasmáticas.** Estos sistemas son el sistema del complemento, el sistema de la coagulación, el sistema de las cininas y las inmunoglobulinas. El sistema del complemento consiste en más de 30 proteínas presentes en el plasma sanguíneo y las superficies celulares. Trabaja en forma estrecha con los anticuerpos, y de hecho se llama así porque las proteínas del sistema “complementan” a los anticuerpos en la destrucción de las bacterias (Walport, 2001). El sistema del complemento activa los procesos inflamatorios e inmunitarios y los asiste, y tiene una función importante en la destrucción de bacterias. El sistema de la coagulación captura bacterias que han entrado en la herida y también interactúa con las plaquetas para detener cualquier sangrado. El sistema de las cininas (kininas) ayuda a controlar la permeabilidad vascular, mientras que las inmunoglobulinas ayudan a la destrucción de bacterias.
- **Movilización de células fagocíticas** a la zona, a fin de que fagociten bacterias o cualquier otra materia no propia en la herida (figura 16-8).

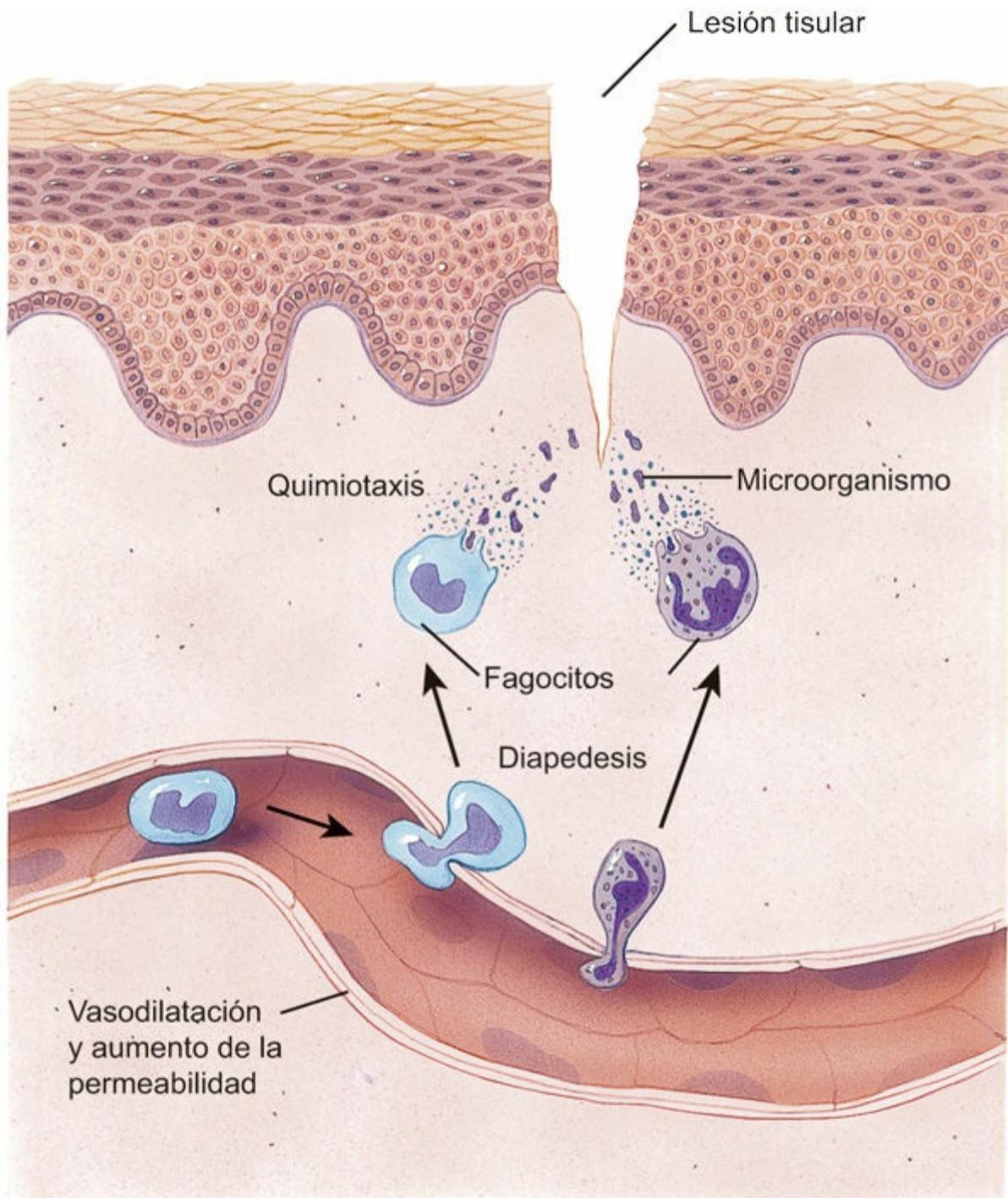


Figura 16-8. Los fagocitos migran de la sangre al sitio de lesión tisular. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los factores del complemento estimulan a los mastocitos para que liberen histamina y otras sustancias, que a su vez pueden incrementar la permeabilidad de los vasos sanguíneos (Tortora *et al.*, 2014).

Otros factores implicados en la permeabilidad vascular son:

- **Citocinas** (mensajeros celulares), que promueven la inflamación y también atraen leucocitos a la zona afectada (Marieb y Hoehn, 2013).
- **Cininas** y **prostaglandinas**, que son mensajeros químicos liberados por

células dañadas y estresadas, fagocitos y linfocitos.

Todos estos factores –histamina, complemento, citocinas y cininas (kininas)–, además de tener sus propias funciones inflamatorias individuales específicas, hacen que los pequeños vasos sanguíneos en la zona que se ha dañado se dilaten, de modo que pueda fluir más sangre a la región que rodea la zona dañada. Esto causa el enrojecimiento y el calor relacionados con la inflamación (Marieb y Hoehn, 2013).

Consideraciones clínicas

Enfermedad reumatoide

La enfermedad reumatoide es causada por una reacción autoinmunitaria (el sistema inmunitario ataca a las células propias del individuo). Es una de las afecciones crónicas más comunes en los países desarrollados e incluso en aquellos en desarrollo. Algunas citocinas inflamatorias tienen una función importante en la patogenia de este trastorno. La artritis reumatoide es una causa común de discapacidad; es probable que un tercio de los pacientes estén gravemente discapacitados. Los cambios articulares, que casi con toda certeza representan una reacción autoinmunitaria, consisten en:

- Inflamación.
- Erosión de cartílago y hueso.

Enfermedades autoinmunitarias

Entre las enfermedades autoinmunitarias se encuentran afecciones tan diversas como la artritis reumatoide, diabetes mellitus tipo 1, esclerosis múltiple y lupus eritematoso sistémico (lupus). Las enfermedades autoinmunitarias afectan al 3% de la población occidental y son más comunes en personas que viven en las latitudes más septentrionales. Casi todas las enfermedades autoinmunitarias son más comunes en mujeres, y son raras en niños; el inicio suele ocurrir entre la pubertad y la edad del retiro. Además, existe una tendencia familiar: no necesariamente de la misma enfermedad, sino de las enfermedades autoinmunitarias en general.

Tratamiento farmacológico

Los fármacos que más se usan en la enfermedad reumatoide son los fármacos antirreumáticos modificadores de la enfermedad (FARMEs), así como los antiinflamatorios no esteroideos (AINE). Estos fármacos reducen los síntomas de la enfermedad reumatoide, pero no impiden su avance. Otros medicamentos que se usan para esta enfermedad son:

- Algunos inmunosupresores (fármacos que suprimen el sistema inmunitario en un intento de impedir que ataquen las células propias).
- Esteroides.
- Anticitocinas; son fármacos nuevos, y tienen más efecto específico contra los procesos patológicos de la enfermedad reumatoide.

En la categoría de FARMEs se incluyen diversos fármacos con diferente estructura química y mecanismo de acción. Pueden mejorar los síntomas y reducir la actividad de la enfermedad en la artritis reumatoide. Esto puede medirse en la forma de una reducción en

el:

- Número de articulaciones inflamadas y sensibles.
- Puntaje de dolor.
- Puntaje de discapacidad.

Sin embargo, existen dudas acerca de si detienen o no el avance de la enfermedad a largo plazo.

Aplicación clínica

Función(es) de la enfermera y personal de salud en la valoración de las necesidades de un paciente con esclerosis múltiple

La esclerosis múltiple (EM) es un trastorno autoinmunitario en el cual la vaina de mielina que rodea y protege las fibras nerviosas es dañada por el propio sistema inmunitario. Esto, a su vez, causa daño a las fibras nerviosas subyacentes.

Los signos y síntomas de EM son muchos y variados y dependen de la parte afectada del sistema nervioso central, pero puede haber problemas de visión y equilibrio, mareo, fatiga, problemas vesicales e intestinales, dificultades para el habla y deglución, rigidez, espasmo o ambos, y temblores, así como problemas de memoria, cognitivos y emocionales. También es importante que la enfermera sepa que hay diferentes tipos de EM, a saber, las formas nuevas, recurrentes, progresivas y avanzadas.

En consecuencia, la función de la enfermera es asegurarse de tener un buen conocimiento de los signos, síntomas, causa y efectos de la EM, así como del paciente. Este conocimiento permitirá a la enfermera y personal de salud ofrecer explicaciones, iniciar la educación de pacientes y familiares sobre la EM, su tratamiento y pronóstico, y participar en el consejo (o referir) tanto a los pacientes como a sus familias.

Para ser capaz de asumir la función de guiar al paciente y familiares por todas las peculiaridades de esta enfermedad, antes que nada la enfermera y personal de salud debe hacer una valoración exhaustiva del paciente, registrando temas como sus efectos físicos, cognitivos, emocionales y sensitivos, así como estrategias de afrontamiento, junto con cualesquiera problemas en el funcionamiento intestinal y vesical (y temas sexuales que puedan surgir). Estas valoraciones deben actualizarse en forma continua durante toda la vida del paciente con EM, a fin de asegurar que siempre se disponga de la mejor atención física, psicológica, emocional y social y sea pertinente para el paciente y su familia. Con ese fin, las enfermeras deben tener conocimiento y comprensión de cómo funcionan diversos medicamentos para la EM y, con el equipo médico, asegurar que el esquema medicamentoso sea el más adecuado para ese paciente, a fin de minimizar los síntomas de EM y asegurar la mejor calidad de vida posible. Esto ayudará a asegurar una mejor oportunidad de apego del paciente al tratamiento farmacológico y otros esquemas terapéuticos. Dentro de este renglón, la enfermera y personal de salud debe tener presente cómo reacciona la afección a los tratamientos indicados, así como cualquier efecto adverso que pudiera surgir.

Asimismo, la enfermera debe convertirse en una promotora del seguimiento con un equipo interdisciplinario apropiado de salud y social/psicológico que pueda estar disponible.

Además, es recomendable que la enfermera conozca a los pacientes en forma individual (y a sus familias) y les permita conservar toda la autonomía que sea posible para el manejo

de su enfermedad, sus efectos y terapias, y que siempre tenga presente que se trata de una afección de por vida para la cual, hasta el momento, no existe cura, así como asegurarse de que los pacientes y sus familias siempre estén conscientes de este hecho.

Esas sustancias también elevan la permeabilidad de las paredes capilares, lo cual permite que los glóbulos rojos o eritrocitos y el líquido rico en proteína se filtren en los tejidos circundantes, lo cual ocasiona **edema**, el tercero de los signos clásicos de inflamación. El edema realiza tres funciones que son importantes para la cicatrización del tejido dañado:

- Dilución de sustancias dañinas en la zona, para hacerlas menos concentradas.
- Movilización a la zona de grandes cantidades de oxígeno y los nutrimentos necesarios para la reparación de cualquier daño.
- Entrada de proteínas de la coagulación para ayudar a sellar el daño (Marieb y Hoehn, 2013).

Eso deja al **dolor** como el signo clásico restante de inflamación. El dolor es causado en parte por la presión en las terminaciones nerviosas como resultado del edema en los tejidos y en parte por la liberación de toxinas bacterianas (Marieb y Hoehn, 2013).

Resumen de la inflamación

La secuencia de procesos de una respuesta inflamatoria típica a la lesión tisular es como sigue:

- Las arteriolas cerca del sitio de la lesión se constriñen brevemente.
- Esta vasoconstricción es seguida por vasodilatación, que incrementa el flujo sanguíneo al sitio lesionado (**eritema y calor**).
- La dilatación de las arteriolas en el sitio lesionado eleva la presión arterial.
- Esto aumenta la **exudación** tanto de proteínas plasmáticas como de glóbulos sanguíneos en los tejidos de la zona.
- La exudación causa entonces **edema y tumefacción**.
- Se estimulan las terminaciones nerviosas de la zona, en parte por presión (**dolor**).
- Los sistemas de coagulación y de las cininas (kininas), junto con plaquetas, se movilizan a la zona y bloquean cualquier daño tisular al comenzar el proceso de la coagulación.
- Llegan a la zona leucocitos – fagocitos y linfocitos – y comienzan a destruir cualesquiera microorganismos infecciosos en la vecindad del traumatismo.
- Estos fagocitos, junto con las sustancias que producen, destruyen cualquier bacteria u otros microorganismos en la vecindad y retiran los detritos que resultan de la batalla entre los microorganismos y el sistema inmunitario; esto incluye exudados y células muertas (pus).
- Todas estas partes del sistema inmunitario y el aparato circulatorio permanecen en la zona hasta que ocurre la regeneración (reparación) del tejido; esto se denomina resolución.

Manejo de medicamentos

Nuevas terapias: adalimumab

El adalimumab es un fármaco sintético, y en esencia es un anticuerpo monoclonal antifactor de necrosis tumoral α completamente humano. En efecto, es un fármaco basado en el sistema inmunitario normal. Se deriva de anticuerpos sintéticos que están programados para atacar el factor de necrosis tumoral alfa (TNF α). El TNF α es parte normal del sistema inmunitario humano el cual, después de una infección, permite una reacción inflamatoria creciente dentro del cuerpo, además de ayudar a movilizar las diversas células del sistema inmunitario (p. ej. linfocitos) a fin de que combatan al microorganismo infeccioso invasor.

El adalimumab se prescribe como parte de la farmacoterapia para pacientes con enfermedades autoinmunitarias como la artritis reumatoide. En un trastorno autoinmunitario, el sistema inmunitario ataca las células y tejidos propios, porque los valores circulantes de TNF α permanecen constantemente elevados, haya o no infección, y son estos valores elevados de TNF α los que hacen que las células inmunitarias funcionen de manera incorrecta y de este modo ataquen a las células propias. El adalimumab bloquea la producción de este TNF α y en consecuencia reduce los efectos físicos de la artritis reumatoide, psoriasis, artritis psoriásica y otros trastornos autoinmunitarios.

Sistema inmunitario adquirido

La inmunidad adquirida es la inmunidad que se adquiere a lo largo de la vida; el sistema inmunitario adquirido apenas funciona al nacer, pero corresponde al propio sistema inmunitario adquirido de la madre dar protección *in utero*, parte del cual (sobre todo determinadas inmunoglobulinas) permanece en el lactante por un breve periodo después de nacer. Otro nombre del sistema inmunitario adquirido es el de sistema inmunitario específico, porque se dirige contra microorganismos infecciosos específicos. Está muy basado en los leucocitos llamados linfocitos.

Hay dos tipos de inmunidad adquirida: inmunidad celular e inmunidad humoral.

Inmunidad celular (linfocitos T)

Este tipo de inmunidad se conoce como inmunidad celular porque las células mismas destruyen cualesquiera antígenos invasores.

Los linfocitos T se originan en la médula ósea, pero luego, en determinada fase de su desarrollo, salen de ahí como linfocitos inmaduros. Estos linfocitos inmaduros llegan al timo, donde completan su desarrollo. Además, aprenden a reconocer las células propias de modo que no las destruyan, pero sí lo hagan con las células invasoras, por ejemplo, bacterias y virus (figura 16-11). El timo se encuentra en el tórax. En los bebés es un órgano grande (respecto a su talla), pero se atrofia con la edad.

Los linfocitos T tienen diferentes funciones en el sistema inmunitario adquirido, que dependen de la diferenciación que experimentan en el timo (figura 16-9). Diferentes tipos de linfocitos T portan diferentes receptores en sus superficies, que se conocen como grupos de diferenciación (CD). Se llaman así porque el modo en que esos receptores se organizan en la superficie celular define su función.

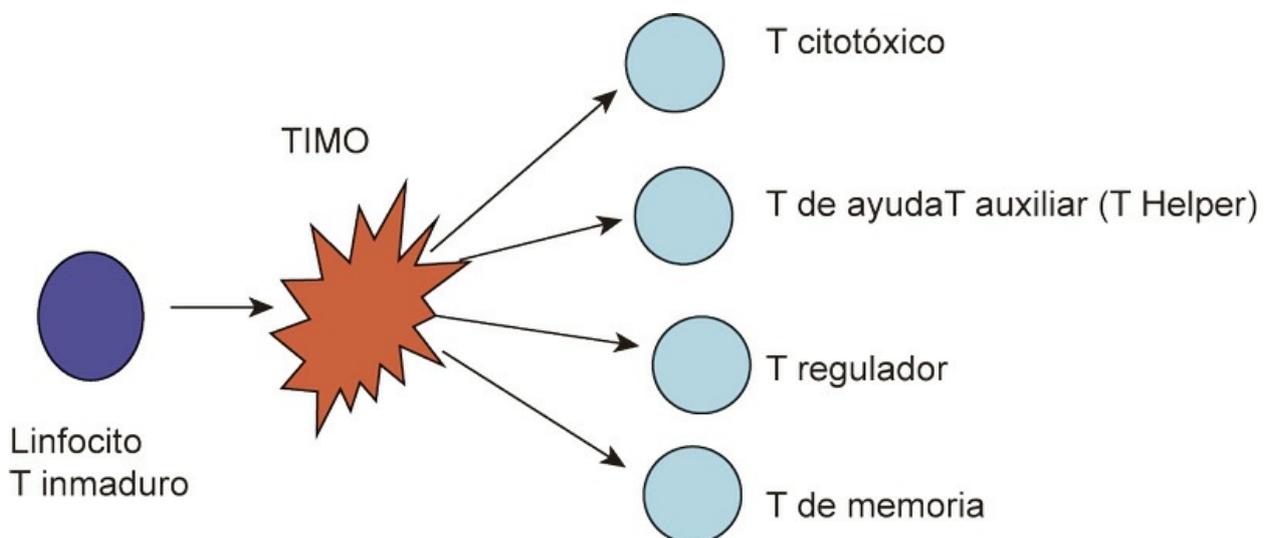


Figura 16-9. Desarrollo y tipos de linfocitos T.

Existen cuatro clases de linfocitos T:

- Linfocitos T citotóxicos.
- Linfocitos T auxiliares.
- Linfocitos T reguladores.
- Linfocitos T de memoria.

Las principales funciones de los linfocitos T son:

- Citotoxicidad (destrucción celular).
- Control del sistema inmunitario.
- Memoria.

Citotoxicidad (destrucción celular)

Esta función es realizada por los linfocitos T citotóxicos que poseen glucoproteína CD8 en su membrana. Estas células median la destrucción celular directa de las células objetivo (Rote and Crippes Trask, 2006). Las células objetivo pueden ser células infectadas por virus, tumores o injertos no propios, como trasplantes renales.

Los linfocitos T citotóxicos se unen a la célula objetivo y liberan en ésta sustancias tóxicas capaces de destruirla. Si la célula objetivo es una infectada por virus, se le destruye, al igual que los virus que la han infectado. De este modo los virus no pueden salir a invadir otras células.

Control del sistema inmunitario

Ésta es una tarea de los linfocitos T auxiliares y reguladores trabajando juntos.

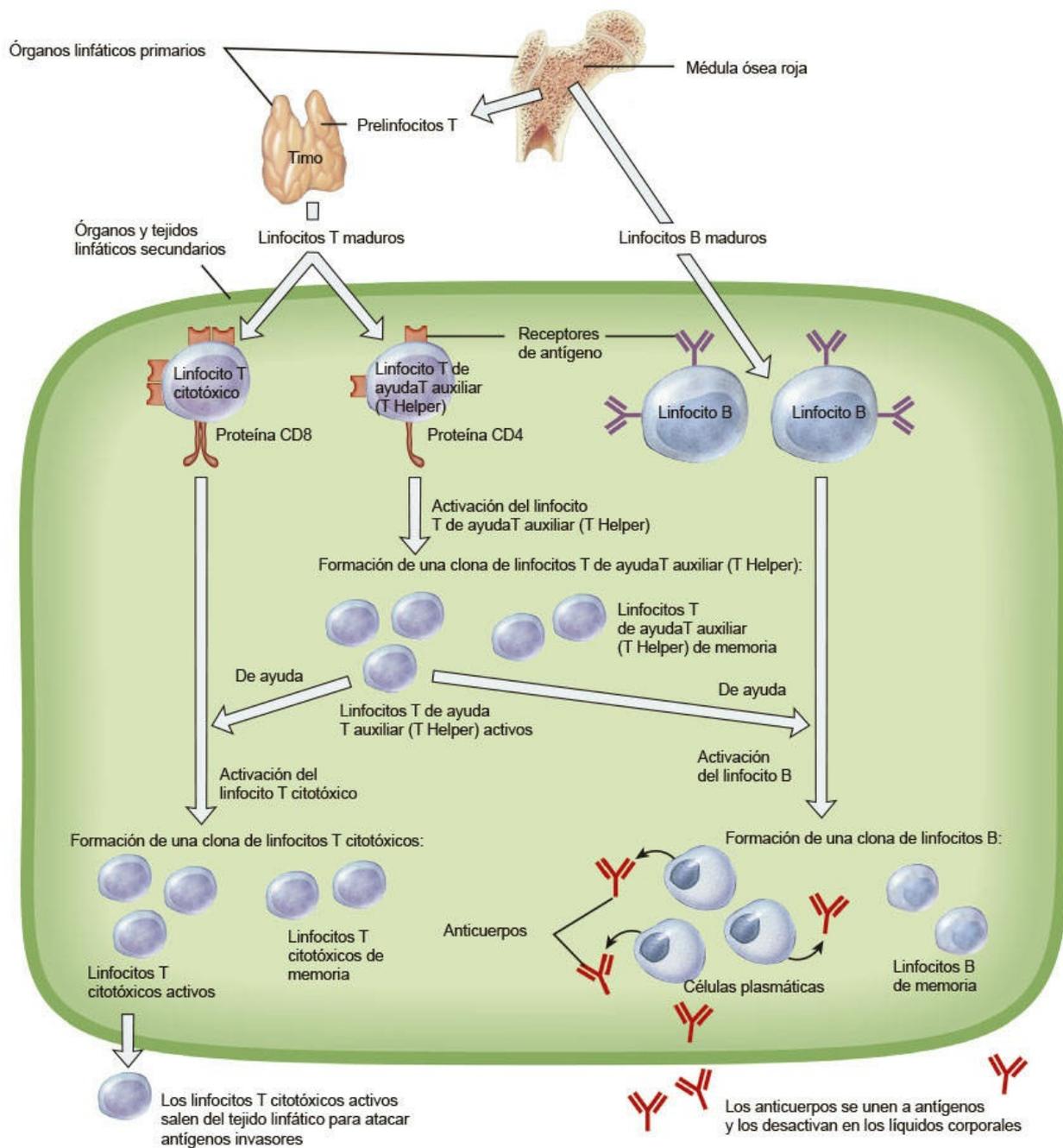
Los linfocitos T auxiliares están cubiertos por proteínas CD4 y estimulan al sistema inmunitario –tanto el adquirido como muchas partes del innato– para proliferar en respuesta a microorganismos infecciosos (u otros antígenos) presentes en el cuerpo. Hay dos tipos de linfocitos T auxiliares: tipo 1 y tipo 2.

El cuerpo suele ser muy eficiente para estimular la actividad inmunitaria en respuesta a una invasión de antígenos, pero requiere balances y verificaciones para evitar la estimulación excesiva de la inmunidad inmunitaria, y esta función es realizada por los linfocitos T reguladores.

Mientras que en muchos estudios se han identificado linfocitos T reguladores, al parecer no hay un único marcador del receptor de los linfocitos T reguladores, así que la supresión inmunitaria podría ser en realidad una tarea realizada por una combinación de linfocitos T auxiliares y citotóxicos por medio de un mecanismo de retroinhibición (Male, 2013).

Memoria

Una cualidad especial que el sistema inmunitario adquirido posee es la capacidad de recordar antígenos; o, más específicamente, los receptores antigénicos que el sistema inmunitario ha detectado antes, y de este modo producir un grupo de linfocitos capaces de estimular las partes del sistema inmunitario que pueden contrarrestar esos antígenos de inmediato si se les detecta en futuras infecciones. Los linfocitos T de memoria se encargan de una respuesta rápida a ataques ulteriores de microorganismos infecciosos específicos (Rote y McCance, 2014). Este proceso se conoce como respuesta inmunitaria (o inmunorreacción) secundaria y se explica hacia el final de este capítulo (figuras 16-10 y 16-11).



INMUNIDAD CELULAR
Dirigida contra patógenos intracelulares, algunas células cancerosas, y tejido trasplantado

INMUNIDAD HUMORAL
Dirigida contra patógenos extracelulares

Figura 16-10. Inmunorrespuestas celular y humoral. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

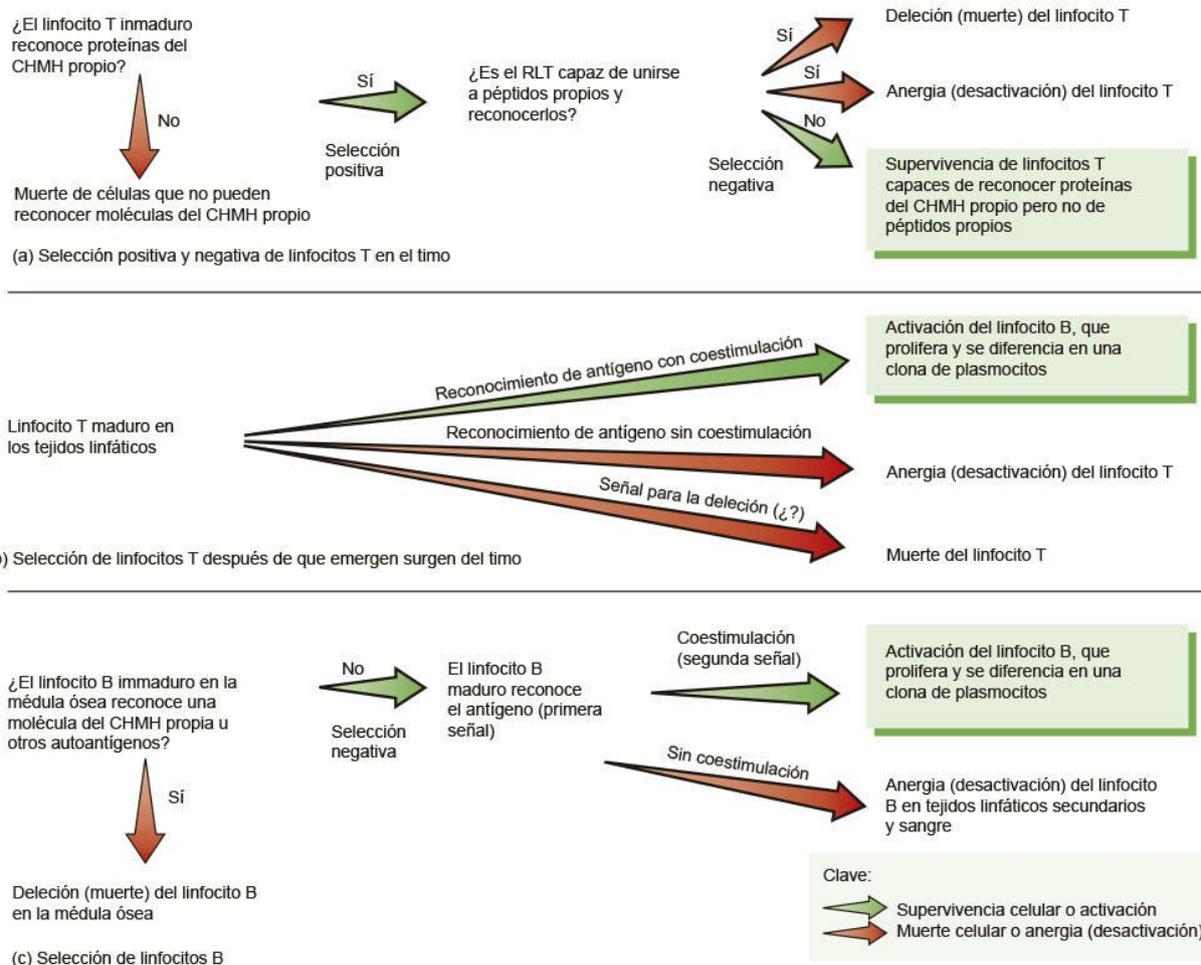


Figura 16-11. (a–c) Proceso de enseñanza/reconocimiento a los linfocitos T y B a reconocer patógenos (microorganismos infecciosos). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Las células de memoria son longevas, y siempre hay en circulación un número constante de ellas para un antígeno dado (Murphy, 2014).

Inmunidad humoral (linfocitos B)

Este segundo tipo de inmunidad adquirida (en el que intervienen linfocitos B) se conoce como inmunidad humoral porque los componentes activos del sistema inmunitario son hidrosolubles (y debido a ello se aplica el término antiguo “humor”).

Los linfocitos B se originan y maduran en la médula ósea.

Como los linfocitos T, los linfocitos B necesitan pasar por una etapa de maduración en la cual deben sobrevivir a un proceso de selección negativa. Éste es un intento de asegurar que los receptores antigénicos en su membrana celular no presenten autorreactividad (es decir, que no reaccionen contra las células propias) (Nairn and Helbert, 2007).

Durante este proceso, aquellos linfocitos B autorreactivos contra las células y tejidos del huésped son destruidos, lo que deja sólo linfocitos vírgenes no autorreactivos, que entonces serán capaces de pasar a la siguiente etapa de maduración y selección (figura 16-10). Éste es un proceso muy importante,

porque si hubiera alguna autorreactividad de los linfocitos B, como en el caso de la autorreactividad de los linfocitos T, entonces el resultado podría ser autoinmunidad.

El mecanismo real de la selección negativa de linfocitos B dentro de la médula ósea es similar al proceso experimentado por los linfocitos T durante su maduración y diferenciación en el timo (figura 16-11). Sin embargo, los linfocitos B se someten además a un proceso de selección positiva en el cual aquellos linfocitos que son capaces de reaccionar a antígenos no propios se preservan, mientras que aquellos que no lo son se dejan morir. Los linfocitos B que han sobrevivido a esta selección negativa encuentran su camino a los órganos linfáticos periféricos, donde pueden enfrentar antígenos no propios reales para los cuales tienen especificidad. Se piensa que los linfocitos B pueden reconocer más de 10^8 (100,000,000) antígenos diferentes.

Los linfocitos B maduros son de dos tipos: linfocitos B de memoria (con una función similar a la de los linfocitos T de memoria) y plasmocitos secretores de anticuerpo.

Inmunoglobulinas (anticuerpos)

Los anticuerpos secretados por los plasmocitos también se conocen como **inmunoglobulinas**, y su función es actuar como mediadores en la destrucción de antígenos no propios. Estas inmunoglobulinas no se encargan de la destrucción en sí. Más bien, ayudan a otros componentes del sistema inmunitario a destruir antígenos no propios.

Existen cinco clases de inmunoglobulinas:

- IgG.
- IgA.
- IgM.
- IgE.
- IgD.

Inmunoglobulina G

Ésta es la clase más importante de inmunoglobulinas implicadas en la inmunorrespuesta secundaria. Constituye alrededor del 75% de la inmunoglobulina sérica total (Seymour *et al.*, 1995), y se divide en cuatro subclases: IgG1, IgG2, IgG3 e IgG4.

Dado que tiene un bajo peso molecular (es decir, es muy pequeña), la IgG se encuentra en zonas intravasculares y extravasculares del cuerpo. Esto significa que puede llegar a todas las partes del cuerpo, y por lo tanto sus efectos son de largo alcance. En particular, tiene una función importante contra microorganismos infecciosos transportados en la sangre y los que invaden los tejidos.

El bajo peso molecular también significa que la IgG puede cruzar la barrera placentaria para conferir un alto grado de inmunidad pasiva temporal durante la gestación y en el neonato. Esto es importante, porque si bien la IgG materna desaparece hacia los nueve meses de edad, por ese tiempo se supone que los lactantes ya están produciendo su propia IgG.

La IgG ayuda al sistema inmunitario de varias maneras (Seymour *et al.*, 1995; Vickers, 2005; Nairn and Helbert, 2007; Delves *et al.*, 2011):

- Es importante para activar el sistema del complemento.
- Puede unirse a los macrófagos, y de este modo favorecer la fagocitosis.
- Se une a los linfocitos T citotóxicos y los ayuda a destruir células infectadas.
- Se une a las plaquetas y contribuye a la respuesta inflamatoria.

Inmunoglobulina A

Hay dos tipos de IgA: la “sérica” y la “secretoria”. La IgA sérica tiene funciones similares a las propias de la IgG.

La IgA secretoria (SIgA) reviste enorme importancia porque es la principal inmunoglobulina presente en las secreciones corporales externas, como la saliva,

leche, calostro, lágrimas, secreciones nasales, sudor y secreciones respiratorias y gastrointestinales.

Como su nombre sugiere, la SIgA tiene un componente secretorio, que facilita la transferencia de SIgA a través de las células epiteliales hacia diversas secreciones corporales. También ayuda a proteger la IgA contra el ataque proteolítico (destrucción de proteína) de enzimas secretadas por bacterias.

La principal función de la SIgA es prevenir que los antígenos crucen el epitelio. Además, la SIgA puede activar el sistema del complemento.

La SIgA tiene una función importante en la protección del cuerpo contra infecciones respiratorias, urinarias e intestinales. Asimismo, dado que se encuentra en grandes cantidades en el calostro y en la leche materna, es vital en la protección del neonato contra infecciones intestinales; ésta es una de las causas de que se promueva tanto la lactancia materna (Seymour *et al.*, 1995; Vickers, 2005; Nairn y Helbert, 2007; Delves *et al.*, 2011).

Inmunoglobulina M

La IgM es el anticuerpo predominante en la inmunorrespuesta primaria (véase la sección Inmunorrespuesta primaria), además de participar en las primeras etapas de la inmunorrespuesta secundaria.

Es muy eficaz para activar la vía clásica del sistema del complemento.

Debido a su gran tamaño, la IgM se restringe casi por completo a los espacios intravascular (dentro de los vasos sanguíneos), y también participa a menudo en cualquier respuesta del sistema inmunitario a microorganismos infecciosos complejos transportados en la sangre (Seymour *et al.*, 1995; Vickers, 2005; Nairn y Helbert, 2007; Delves *et al.*, 2011).

Inmunoglobulina E

En el cuerpo sólo hay cantidades muy pequeñas de IgE; en circunstancias normales representa menos del 0.01% de las inmunoglobulinas séricas totales, pero también se encuentra en las superficies de mastocitos y basófilos porque tiene gran avidéz (potencial de unión) por los mastocitos tisulares y basófilos circulantes, y es la unión de IgE a receptores en estas células en presencia de antígeno lo que puede inducir una reacción alérgica.

Esta reacción alérgica consiste en:

- Activación del mastocito.
- Degranulación de la célula.
- Liberación de mediadores, como la histamina.

La degranulación del mastocito y la liberación de histamina ayudan a inducir una respuesta inflamatoria aguda, que provoca los signos clásicos de las reacciones alérgicas, como los que se observan en la fiebre del heno y el asma. La IgE también es la que sensibiliza células en las superficies mucosas, como las conjuntivas y las mucosas nasales y bronquiales. Esto ocasiona otros síntomas

de las alergias, como rinitis y conjuntivitis (Seymour *et al.*, 1995; Vickers, 2005; Nairn y Helbert, 2007; Delves *et al.*, 2011).

La principal función de la IgE para el mantenimiento de la salud es unirse a helmintos y otras oxiuros y helmintos intestinales para contribuir a su destrucción. Las reacciones alérgicas y enfermedades autoinmunitarias son menos comunes en zonas donde proliferan las infestaciones por gusanos y otros parásitos. Se piensa que en sociedades más desarrolladas, donde las infestaciones por helmintos son raras, la IgE se dirige contra las células propias, con el resultado de alergia o autoinmunidad.

Manejo de medicamentos

Nuevas terapias: tratamiento con nematodos

Como ya se mencionó, la IgE es un factor importante en las reacciones alérgicas. Sin embargo, se sabe que tales reacciones (eccema, alergias alimentarias, etc.) no son tan prevalentes en países en que son comunes las infestaciones parasitarias, en particular por nematodos y helmintos intestinales, y en especial uncinarias o áscaris. Al mismo tiempo, en países más desarrollados, con altos estándares de higiene y limpieza en general, las alergias son mucho más frecuentes. Es esta dicotomía lo que ha persuadido a los investigadores a pensar en el tratamiento con helmintos para curar las alergias (Cooper, 2004; Zaccone *et al.*, 2006). En efecto, se han realizado ensayos en que pacientes con alergias han ingerido larvas de uncinarias (el número máximo tolerado es 10), y se han informado mejorías, aunque no lo suficiente para aliviar en grado significativo los síntomas alérgicos. Sin embargo, dado que el tratamiento hizo que algunos sujetos “se sintieran mejor”, éstos optaron por continuarlo una vez que el ensayo terminó. Aunque no se probó su eficacia, bien podrían realizarse más ensayos en el futuro, y el tratamiento con uncinarias podría llegar a convertirse en el estándar para las alergias.

Inmunoglobulina D

Se conoce poco sobre las funciones de la IgD. Sin embargo, sí se sabe que se encuentra sobre todo en la membrana celular de los linfocitos B y que actúa como una molécula receptora, aunque hoy día se trabaja para descifrar y entender esta inmunoglobulina en particular.

Función de las inmunoglobulinas

Según Delves *et al.* (2011), la principal función de un anticuerpo es la de unir fagocitos y otros elementos del sistema inmunitario a antígenos, al fijarse a **epítomos** (o receptores) en la superficie del antígeno (figuras 16-12 y 16-13); así, la principal función de los anticuerpos es proteger al huésped (Rote and McCance, 2014):

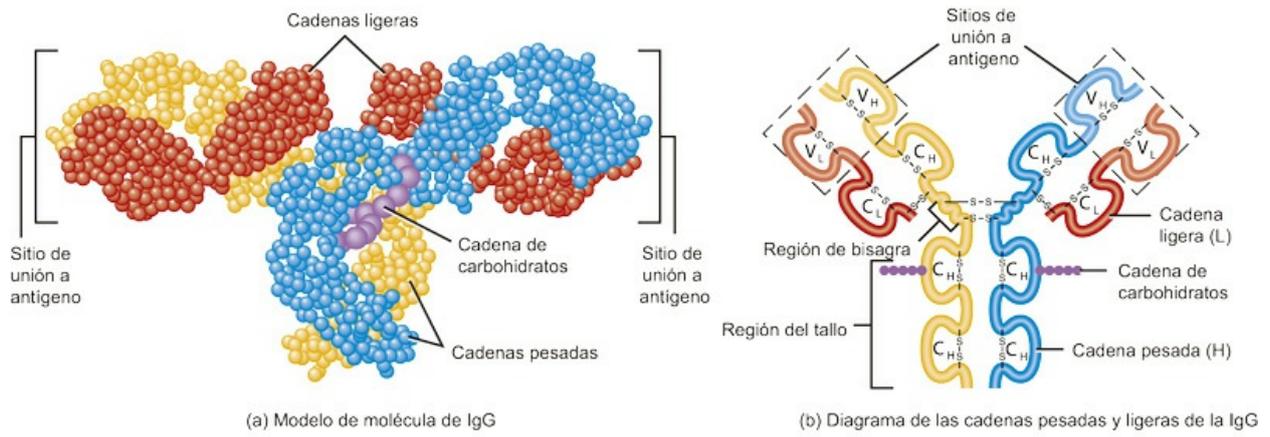


Figura 16-12. (a, b) Modelo de un anticuerpo (IgG). *Fuente:* Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

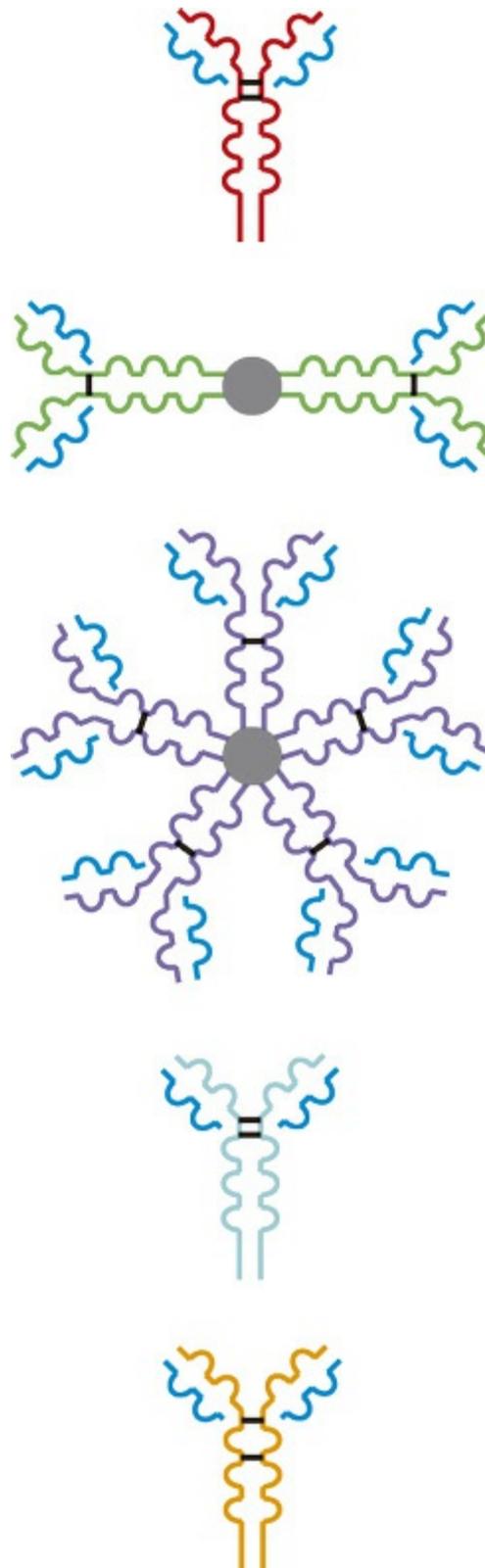


Figura 16-13. Modelo de un antígeno que muestra los epítomos (receptores).
Fuente: Tortora y Derrickson (2014). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Neutralizando toxinas bacterianas.
- Neutralizando virus.
- Oponizando bacterias; las opsoninas son moléculas que se unen a materiales

extraños y a receptores en los fagocitos; de este modo actúan como puentes entre los dos y mantienen el material extraño unido a los fagocitos (Male, 2013).

- Activando componentes de la respuesta inflamatoria.

Los anticuerpos rara vez actúan de manera aislada. Más bien, se unen a otros componentes del sistema inmunitario para destruir microorganismos infecciosos.

Una segunda función de la inmunoglobulina es neutralizar toxinas bacterianas. Esas toxinas son producidas por las bacterias y las hacen más patógenas (dañinas). En tal caso las inmunoglobulinas funcionan como antitoxinas.

De modo similar, las inmunoglobulinas neutralizan virus al unirse a los receptores de la superficie viral, con lo cual impiden que los virus se unan a las células propias y permiten que éstos sean fagocitados, de modo que se previene la infección viral.

Asimismo, las inmunoglobulinas activan componentes de la respuesta inflamatoria.

Manejo de medicamentos

Nuevos tratamientos: inmunoglobulinas

En el tratamiento con inmunoglobulinas se utilizan inmunoglobulinas (anticuerpos) purificadas tomadas de la sangre de donadores voluntarios. Pueden administrarse por vía intramuscular, intravenosa o subcutánea. Reviste especial utilidad para personas con inmunodeficiencias de anticuerpos o combinadas, y se ha hecho esencial para el manejo de esas afecciones. El tratamiento con inmunoglobulinas ha estado disponible por muchos años para pacientes con inmunodeficiencias, pero en años recientes se ha descubierto que resultan útiles para muchos otros trastornos, por lo que, sin importar en qué departamento o clínica trabaje la enfermera o el personal de salud (e incluso si trabaja en casa), es probable que lo encuentre en algún momento.

Lo que es nuevo acerca de este tratamiento es que también puede usarse en una enorme cantidad de afecciones, y la lista sigue creciendo. Enseguida se enumeran sólo unos pocos de los trastornos en que el tratamiento con inmunoglobulinas será de utilidad o para los cuales en nuestros días se ensaya.

Trastornos inmunitarios:

| | |
|--|-----|
| Deficiencia de anticuerpos | VIH |
| Inmunodeficiencia combinada (linfocitos T y B) | |
| Deficiencias del complemento | |

Problemas hematológicos y oncológicos:

| | |
|-------------------------------------|-----------------|
| Diversos tipos de leucemia | Anemia aplásica |
| Síndrome hemofagocítico | |
| Púrpura trombocitopénica idiopática | |

| Afecciones infecciosas: | |
|---|-----------------------------|
| Fiebre reumática | Enfermedad de Lyme |
| Otitis media recurrente | Sinusitis crónica |
| Trastornos neurológicos: | |
| Enfermedad de Alzheimer | Encefalopatía |
| Epilepsia | Esclerosis múltiple |
| Mieloma | |
| Enfermedades reumatológicas: | |
| Artritis reumatoide | Esclerodermia |
| Enfermedad de Kawasaki | Lupus eritematoso sistémico |
| Otras afecciones: | |
| Asma | Dermatitis atópica |
| Fibrosis quística | Diabetes mellitus |
| Septicemia y choque séptico | Rechazo de trasplante |
| Pérdida recurrente de embarazo o aborto | |

Aplicación clínica

Habilidades para la educación práctica de pacientes con hipogammaglobulinemia que se autoadministrarán tratamiento con inmunoglobulina subcutánea en casa

Para afecciones crónicas, como la hipogammaglobulinemia (linfocitos B bajos o ausentes, que ocasionan falta de anticuerpos), la capacidad de autotratarse en casa permite una mejor calidad de vida al paciente y la familia, porque la persona asume el control de su trastorno y también se altera menos el modo de vida del paciente (y su familia), aparte de que es más eficaz en términos de costo en tiempo de los profesionales de la salud. Ello permite entonces que los pacientes más nuevos o difíciles (con respecto al tratamiento) sean atendidos y vigilados en un ambiente clínico. Sin embargo, para que esto pueda ocurrir, debe plantearse una forma de tratamiento en casa, y lo primero y más importante es la capacidad de la enfermera de enseñar los métodos de tratamiento subcutáneo, así como la vigilancia del tratamiento continuo en casa, junto con el apoyo para el paciente y su familia. Esto requiere que la enfermera prepare un curso de enseñanza y capacitación una vez que se haya determinado que el paciente se benefició con el tratamiento basado en el hospital o la clínica y después de asegurarse de que el paciente (o un familiar, o ambos) tiene el deseo, la capacidad cognitiva y la destreza manual para realizar el procedimiento en casa. Ésta es una nueva habilidad para muchas enfermeras, y requerirá tiempo y experiencia para adquirirse.

Tendrán que escribirse protocolos, y luego aceptarse en el hospital o la clínica, antes de que pueda iniciarse la capacitación, a fin de que este procedimiento pueda ser realizado

por el paciente o la familia en casa.

Antes que nada, cuando es posible se realiza una visita domiciliaria a fin de asegurarse de que el ambiente doméstico y las instalaciones disponibles sean adecuados para realizar el procedimiento en casa.

Para el adiestramiento sobre autoadministración de inmunoglobulinas subcutáneas, se siguen tres pasos en las sesiones con el paciente (también puede incluirse a la familia):

1. Demostración del procedimiento por la enfermera.
2. Ejecución del procedimiento por el paciente, con ayuda de la enfermera.
3. Autoadministración por el paciente, a satisfacción de la enfermera que observa.

Todo el periodo de capacitación puede durar varias semanas hasta que la enfermera se asegura de que el paciente puede realizar la maniobra por sí mismo en casa.

Será necesario hacer arreglos para que la enfermera realice verificaciones de la situación con regularidad, para asegurarse de que no haya problemas; por ejemplo, puede hacer revisiones periódicas de la habilidad del paciente o familiar para realizar el procedimiento de manera segura, además de establecer un sistema que permita contactarla en caso de preguntas o urgencias en cuanto surjan en casa.

Células citolíticas naturales

Existe un tipo más de linfocitos, que al parecer expresan sólo los marcadores más tempranos de diferenciación de los linfocitos T. Se les conoce como **células nulas** o **células citolíticas naturales** (**células natural killers**, o “**asesinas naturales**”). Las células NK no se unen a antígeno, ni son inducidas a proliferar por el contacto con un antígeno. Más bien, realizan cambios químicos en las superficies de células infectadas por virus o de células malignas, y no a receptores de antígeno (Rote y McCance, 2014).

Aunque son linfocitos, estas células suelen clasificarse dentro del sistema inmunitario innato.

Respuesta primaria y secundaria a la infección

Por último, se analizará la respuesta del sistema inmunitario a las infecciones. Lo que en realidad hace especial al sistema inmunitario adquirido es su capacidad de “recordar” encuentros previos con un antígeno. Sin esta capacidad, cada vez que un individuo entrara en contacto con un antígeno en particular tendría el riesgo de adquirir una enfermedad grave y posiblemente letal. Esta memoria inmunitaria es crucial porque permite al organismo establecer una inmunorrespuesta inmediata a un antígeno sin esperar a que el sistema inmunitario encuentre una manera de destruir ese antígeno cada vez que infecta a la persona.

¿Cómo adquiere el sistema inmunitario este recuerdo de un antígeno específico? Hay dos inmunorrespuestas, la primaria y la secundaria. La primaria ocurre la primera vez que el sistema inmunitario entra en contacto con un nuevo antígeno (como un microorganismo infeccioso), y la respuesta secundaria ocurre en todos los encuentros ulteriores con el mismo antígeno.

Inmunorrespuesta primaria

En la inmunorreacción primaria siempre transcurre un largo tiempo antes de que pueda emitirse una respuesta. Esto se conoce como fase de “retraso” porque la respuesta tarda un tiempo en ocurrir después del encuentro con el antígeno (figura 16-14). Durante este periodo los linfocitos B maduros no producen anticuerpos detectables, pero el sistema inmunitario trabaja en una manera de destruir el antígeno.

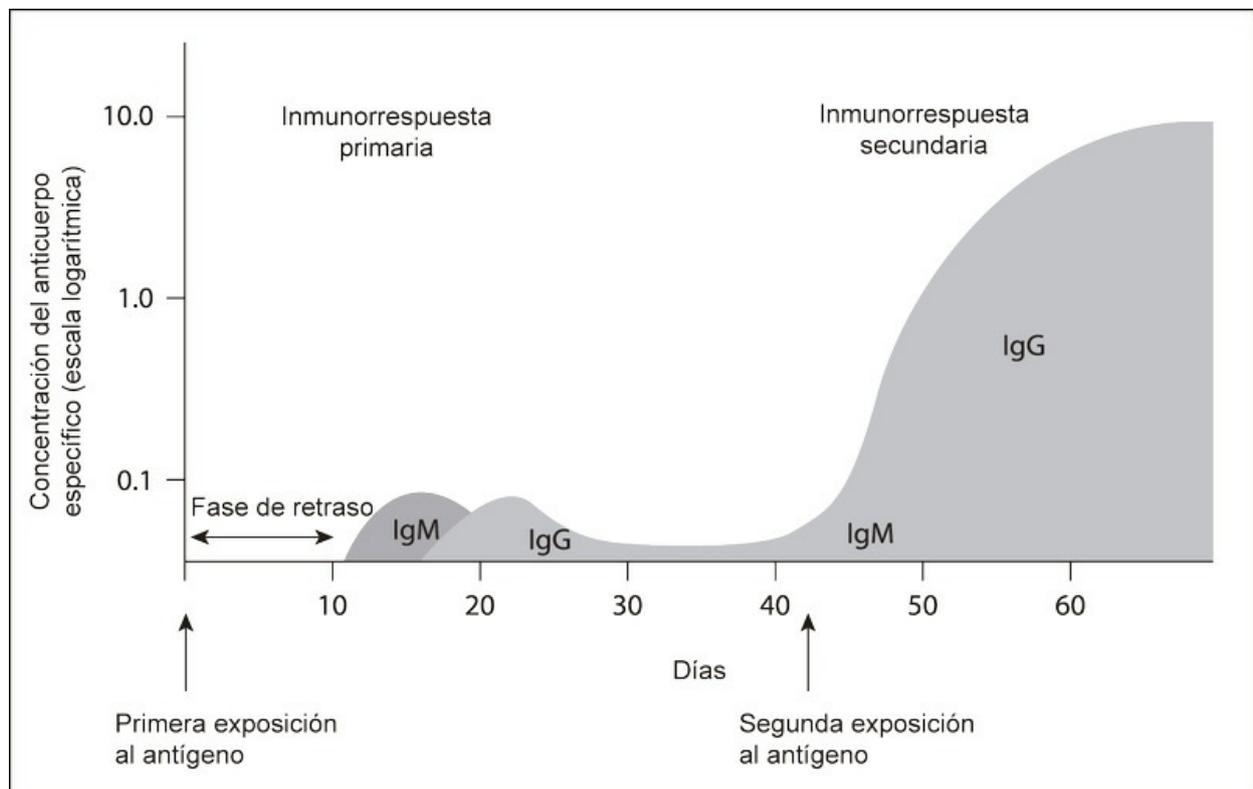


Figura 16-14. Respuestas de anticuerpos (humorales) a una infección.

En el caso de la inmunorrespuesta primaria, la fase de retraso puede durar de 5 a 10 días antes de que haya una producción suficiente de anticuerpos para hacer la diferencia. Durante este lapso, el huésped puede enfermar de gravedad e incluso morir.

La principal clase de inmunoglobulina producida en esta etapa es la IgM, y sólo se producen pequeñas cantidades de IgG, pero suelen ser suficientes para destruir al antígeno.

Al mismo tiempo que el antígeno es destruido, las células de memoria retienen una impresión de este antígeno específico y cómo vencerlo, y este recuerdo permanecerá con el huésped durante un largo tiempo. Cada vez que el huésped es infectado por ese mismo antígeno, las células de memoria se refuerzan.

Consideraciones clínicas

Lavado de manos

El lavado de manos es la medida individual más importante para prevenir la infección cruzada. La técnica empleada incluye limpieza exhaustiva, enjuague y secado de ambas manos. Las manos son la principal vía por la cual ocurre infección cruzada.

Ha habido muchos esfuerzos concertados por hacer cumplir políticas de lavado de manos más estrictas en todos los ambientes de salud y servicios sociales; el lavado de manos eficaz sigue siendo una iniciativa esencial de salud pública. Es un aspecto fundamental del repertorio de habilidades de cualquier prestador de servicios de salud, y estas destrezas deben dominarse a fin de proporcionar a cada persona un ambiente seguro. Aquellos individuos con deficiencias inmunitarias están en especial riesgo de infección; debido a ello, todo el tiempo debe prestarse atención a las técnicas escrupulosas de lavado de manos.

Todos los prestadores de servicios de salud deben esforzarse por hacer del lavado de manos una conducta automática que se realice en todas las casas, escuelas y otros ambientes. Familiares y cuidadores que entran en contacto con personas que tienen una deficiencia inmunitaria deben apegarse al lavado de manos eficaz. El objetivo clave del lavado de manos eficaz es evitar la propagación de microorganismos entre personas o entre otros seres vivos y personas. Objetos y superficies inanimados (fomites), como cubiertos o equipo clínico contaminado, pueden poner en riesgo la salud y el bienestar de una persona con inmunodeficiencia.

Usar la técnica de lavado de manos correcta no sólo salva vidas sino también puede ahorrar dinero. Las prácticas de lavado de manos deficientes ocasionan infecciones de vías urinarias, del torrente sanguíneo, respiratorias y de heridas quirúrgicas. Estas infecciones son causadas por la transferencia de microorganismos desde el personal y familiares hacia personas vulnerables, lo que podría prevenirse aplicando los procedimientos de lavado de manos correctos.

En todos los ambientes de atención de la salud el lavado de manos es obligatorio, y debe realizarse usando políticas y procedimientos establecidos. Existen varias prácticas de higiene de manos, por ejemplo, uso de fricciones a base de alcohol y el hecho de lavarse físicamente las manos. Las consecuencias de no usar el procedimiento correcto son muchas; el impacto que esto puede tener en la salud y el bienestar de la persona que se atiende puede ser devastador.

Inmunorrespuesta secundaria

Si en una fecha posterior el mismo antígeno vuelve a infectar al individuo, gracias a los linfocitos T de memoria el cuerpo será capaz de establecer una inmunorrespuesta secundaria mucho más rápida. Dado que las células de memoria tienen el recuerdo de este antígeno, la producción de anticuerpos puede realizarse con gran rapidez, de modo que la fase de retraso es muy corta.

En una inmunorrespuesta secundaria, la principal clase de anticuerpo producida es IgG, aunque en ocasiones se producen IgA o IgE según la naturaleza del antígeno y su vía de entrada (Nairn y Helbert, 2007). La IgG se produce en grandes cantidades con gran rapidez, y por lo tanto la respuesta es muy rápida y eficaz; a menudo, el antígeno es destruido antes de que se presenten signos y síntomas.

Inmunizaciones

La **inmunización**, o vacunación, es el proceso de transferir anticuerpos a un individuo que carece de ellos (inmunización pasiva) o de inducir una inmunorrespuesta en un individuo (inmunización activa). Las inmunizaciones inducen la respuesta primaria exponiendo el sistema inmunitario a una vacuna que incluye un microorganismo infeccioso el cual se desactiva (mata) o se atenúa (debilita) de modo que ya no sea infeccioso, pero aún posea los receptores capaces de estimular al sistema inmunitario.

Inmunización pasiva

En la inmunización pasiva, se inyectan anticuerpos al individuo. Hay dos tipos de inmunización pasiva, ambos naturales y muy comunes:

- La madre transfiere anticuerpos IgG a través de la placenta al feto. El feto también será inmune a cualesquiera microorganismos a los que sea inmune la madre.
- Durante la lactancia, cuando la madre transfiere anticuerpos IgA al bebé en su calostro y leche materna.

La inmunización pasiva es de corta duración, tan sólo lo que tardan esos anticuerpos en ser eliminados del cuerpo. Este tipo de inmunización por lo general no induce una inmunorrespuesta en el receptor; por lo tanto, no habrá cobertura inmunitaria en una exposición ulterior a ese antígeno específico.

Inmunidad activa

La inmunidad activa es el proceso de presentar antígeno al sistema inmunitario para inducir una inmunorrespuesta a él. Éste es el tipo de inmunidad que aprovecha las respuestas primaria y secundaria a la inmunidad y es la base de todas las inmunizaciones/vacunaciones que la persona recibe en el transcurso de su vida.

Una vacuna debe ser capaz de estimular tanto los linfocitos T como los B para inducir una respuesta inmunológica. Si una vacuna es eficaz, confiere inmunidad común a una población.

Conclusión

Así concluye el capítulo sobre el sistema inmunitario. Como el lector habrá aprendido, es un sistema muy complejo, y cada uno de sus muchos componentes interactúa con otros a fin de conferir a la persona la protección que necesita para sobrevivir en este mundo tan peligroso. Pero, encima de todo, se espera que el lector esté sorprendido y maravillado por su capacidad de realizar su principal función: mantener al individuo a salvo de infecciones y otros daños posibles que pueden aquejarlo.

Lo que el lector debe recordar es que la inmunología es un tema dinámico. La investigación de esta especialidad genera en forma continua nuevos conocimientos, no sólo de la anatomía y fisiología del sistema inmunitario, sino también de los trastornos relacionados con él y sus nuevos tratamientos.

Se ha avanzado tanto en la inmunología que resulta imposible predecir su futuro. Pero, después de todo, esto es lo que la hace una especialidad tan emocionante.

Glosario

Amígdalas (tonsilas). Órganos de tejido linfático situados en la región bucal que ayudan a proteger las vías respiratorias y digestivas contra infecciones.

Anticuerpos. También llamados **inmunoglobulinas**; pueden reconocer agentes infecciosos y fijarse a ellos, y de este modo provocar una inmunorrespuesta a ellos. Son un tipo de **opsoninas**.

Antígeno. Cualquier cosa que provoque la respuesta de un anticuerpo.

Atopia. Tipo de hipersensibilidad relacionada con la **inmunoglobulina E**.

Bactericida. Que tiene la capacidad de destruir bacterias.

Basófilos. Leucocitos que intervienen en el proceso de fagocitosis. También participan en reacciones alérgicas y atópicas.

Bazo. Órgano que es parte del sistema linfático que ayuda a combatir infecciones y filtra y limpia la sangre. Además actúa como depósito de sangre.

Células NK (natural killers). Células citolíticas naturales; son una clase de linfocitos no específicos para determinados agentes infecciosos, por lo que se clasifican dentro de la inmunidad innata y no en la inmunidad adquirida.

Células nulas. Otro nombre para las células NK.

Cininas (kininas). Grupo especializado de proteínas plasmáticas (proteínas que circulan con el plasma sanguíneo) y participan en el proceso de la inflamación.

Citocinas. Mensajeros químicos que modifican la conducta de otras células, incluidas las del sistema inmunitario.

Citotoxicidad. Capacidad de destruir o dañar microorganismos infecciosos.

Edema. Aumento de volumen asociado a acumulación o extravasación de líquido.

Eosinófilos. Leucocitos implicados en la destrucción de gusanos parásitos, y también causales de hipersensibilidad.

Epítomos. Partes de una célula capaces de unirse a otras células (es decir, son receptores celulares).

Factores del complemento. Grupo de proteínas que intervienen en muchos de los procesos inmunitarios (p. ej., fagocitosis e inflamación). También son **opsoninas**.

Fagocitos. Leucocitos capaces de ingerir y destruir microorganismos infecciosos y otros materiales no propios, y que comprenden, entre otros, neutrófilos y macrófagos.

Fagocitosis. Ingestión y destrucción de microorganismos infecciosos y otros materiales no propios por células especializadas (fagocitos).

Ganglios linfáticos. Órganos del sistema linfático que contienen trampas de red, las cuales capturan antígenos para que sean destruidos por anticuerpos y otros componentes del sistema inmunitario.

Granulocitos. Leucocitos que intervienen en el proceso de fagocitosis.

Hipersensibilidad. Inmunorrespuesta aumentada que puede causar alergias y enfermedades atópicas.

Inflamación. Reacción inmediata del cuerpo a lesión o daño de tejidos.

Inmunidad activa. Inmunidad que se desarrolla dentro del cuerpo como resultado de encontrarse con agentes infecciosos.

Inmunidad adquirida. Inmunidad que se adquiere en el transcurso de la vida al

entrar en contacto con muchos agentes infecciosos distintos.

Inmunidad celular. El tipo de inmunidad adquirida generada por los linfocitos T.

Inmunidad humoral. Inmunidad por anticuerpos. Es la parte del sistema inmunitario **adquirido**, que se basa en anticuerpos para ayudar a destruir agentes infecciosos.

Inmunidad innata. Inmunidad con que se nace.

Inmunidad pasiva. Proceso de transferir **anticuerpos** a alguien que es vulnerable a infecciones y no puede producir su propia inmunidad activa.

Inmunidad. Respuesta del cuerpo a una infección, daño o enfermedad.

Inmunización. Proceso de transferir anticuerpos a alguien (esto es, inmunización pasiva) o de inducir una inmunorrespuesta de manera natural y segura (es decir, inmunidad activa).

Inmunoglobulinas. También llamadas anticuerpos.

Leucocitos. Glóbulos blancos, glóbulos sanguíneos que intervienen en la inmunidad.

Linfa. Líquido incoloro derivado de la sangre.

Linfocito. Principal tipo de leucocito del sistema inmunitario adquirido.

linfocitos B. Glóbulos sanguíneos que producen anticuerpos (inmunoglobulinas). Son parte del sistema inmunitario humoral.

Linfocitos T. Leucocitos con muchas funciones, incluidas el control del sistema inmunitario adquirido y la destrucción de virus. Son el principal componente del sistema inmunitario celular.

Macrófago. También llamado macrófago tisular, es un leucocito que participa en el proceso de fagocitosis en los tejidos, no en la circulación sanguínea.

Mastocitos. Células de tejido conjuntivo que intervienen en la activación de la respuesta inflamatoria (inflamación).

Médula. Parte central de un órgano.

Monocito. Tipo de leucocito fagocítico (llamado macrófago tisular una vez que migra a los tejidos).

Neutrófilos. Leucocitos que intervienen en el proceso de la fagocitosis.

Oponinas. Sustancias que unen antígenos a células fagocíticas, de modo que favorecen el proceso de fagocitosis (p. ej., factores del complemento y anticuerpos).

Plaquetas. Véase **trombocitos**.

Plasmocitos. Células que se desarrollan a partir de linfocitos B y que producen anticuerpos.

Prostaglandinas. Ácidos grasos que forman parte del proceso inflamatorio (inflamación).

Respuesta primaria. Inmunorrespuesta que ocurre cuando se entra en contacto por primera vez con un agente infeccioso.

Respuesta secundaria. Inmunorrespuesta que, después de una inmunorrespuesta primaria exitosa a un agente infeccioso específico, ocurre cada vez que se encuentra el mismo agente infeccioso específico.

Pseudópodos. (“falsos brazos”) Proyecciones digitiformes de las células y que, en términos de inmunidad, son muy importantes en el proceso de la fagocitosis.

Sistema de la coagulación. Sistema de proteínas plasmáticas que coagula la sangre para reducir su pérdida. En él también intervienen los **trombocitos** (plaquetas).

Sistema de las cininas (kininas). Sistema en el cual las cininas actúan para activar células inflamatorias, como los neutrófilos, y ayudarlas a funcionar en forma adecuada, además de participar en el proceso de hacer los vasos sanguíneos más permeables a fin de que las células del sistema inmunitario lleguen a la zona de inflamación o daño.

Sistema linfático. Sistema paralelo al sistema circulatorio, pero enfocado en la inmunidad. Consiste en vasos linfáticos que contienen **linfa** (la cual transporta antígenos y anticuerpos), además de ganglios linfáticos y otros tejidos linfáticos (como las amígdalas y el bazo).

Timo. Órgano en que los linfocitos T maduran, distinguen entre células propias y no propias, y se diferencian en diversos tipos de linfocitos T con diferentes funciones dentro del sistema inmunitario adquirido.

Trabéculas. Tiras de tejido conjuntivo que forman parte del armazón de los órganos, dándoles rigidez.

Trombocitos Otro nombre de las plaquetas; son importantes en el proceso de la **coagulación**.

Vasos linfáticos. Similares a los vasos sanguíneos, pero llevan linfa, antígenos (p. ej., bacterias), anticuerpos y otros componentes del sistema inmunitario, desde el sitio de infección hacia los **ganglios linfáticos**.

Bibliografía

- Cooper, P.J. (2004) Intestinal worms and human parasites. *Parasite Immunology* **26**(11–12): 455–467.
- Delves, P.J. and Roitt, I.M. (2000) The immune system: part 1. *New England Journal of Medicine* **343**: 137–149.
- Delves, P.J., Martin, S.J., Burton, D.R. and Roitt, I.M. (2011) *Roitt's Essential Immunology*, 12th edn. Oxford: Blackwell Science.
- Male, D. (2013) *Immunology: An Illustrated Outline*, 5th edn. London: Garland Science Publishing.
- Marieb, E.N. and Hoehn, K. (2013) *Human Anatomy and Physiology*, 9th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Murphy, K. (2014) *Janeway's Immunobiology*, 8th edn. New York: Garland Publishing.
- Nair, M. and Peate, I. (2009) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Nairn, R. and Helbert, M. (2007) *Immunology for Medical Students*, 2nd edn. St Louis, MO: Mosby.
- Roitt, I.M. and Rabson, A. (2000) *Really Essential Medical Immunology*. Oxford: Blackwell Science.
- Rote, N.S. and Crippes Trask, B. (2006) Adaptive immunity. In McCance, K.L. and Huether, S.E. (eds), *Pathophysiology: The Biologic Basis for Disease in Adults and Children*, 5th edn. St Louis: Mosby; pp. 211–248.
- Rote, N.S. and McCance K.L. (2014) Adaptive immunity. In: McCance, K.L. and Huether, S.E. (eds), *Pathophysiology: The Biologic Basis for Disease in Adults and Children*, 7th edn. St Louis, MO: Elsevier.
- Seymour, G.J., Savage, N.W. and Walsh, L.J. (1995) *Immunology: An Introduction for the Health Sciences*. Roseville, NSW: McGraw-Hill.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2014) *Principles of Anatomy and Physiology*, 14th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J., Funke, B.R. and Case, C.L. (2014) *Microbiology: An Introduction*, 8th edn. San Francisco, CA: Pearson Benjamin Cummings.
- Vickers, P.S. (2005) Acquired defences. In Montague, S. Watson, R. and Herbert, R.A. (eds), *Physiology for Nursing Practice*. Edinburgh: Elsevier; pp. 685–724.
- Vickers, P.S. (2007) Section 1: Anatomy and physiology of the immune system. In *Immunology/Immunodeficiencies – Antibody Deficiency*. CD ROM, Baxter (pp. 3–51).
- Walport, M.J. (2001) Complement: part 1. *New England Journal of Medicine* **344**(14): 1058–1066.
- Zaccone, P., Fehervari, Z., Phillips, J.M., Dunne, D.W. and Cooke, A. (2006) Parasitic worms and inflammatory diseases. *Parasitic Immunology* **28**(10): 515–523.

Lecturas adicionales

INGID (International Nursing Group for

Immunodeficiencies)

www.ingid.org

Contiene excelentes materiales de enseñanza/aprendizaje e información sobre inmunología e inmunodeficiencias.

UK Primary Immunodeficiency Network (UKPIN)

<http://www.ukpin.org.uk/>

Combina médicos, investigadores y enfermeras.

European Federation of Immunology Societies (EFIS)

<http://www.efis.org/>

Organismo multiincluyente de todas las sociedades de inmunología europeas.

Immune Deficiency Foundation (IDF)

<http://www.primaryimmune.org/>

Organismo estadounidense de inmunodeficiencia; abundante y excelente información.

Allergy UK

www.allergyuk.org

Ofrece apoyo y consejo a adultos y niños sobre todas las alergias e intolerancias, incluidos trastornos alérgicos como eczema, dermatitis, asma, etcétera.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. Las dos ramas de leucocitos que constituyen parte importante del sistema inmunitario son:
 - (a) Linfocíticos y mielocíticos.
 - (b) Linfocíticos y megacariocitos.
 - (c) Megacariocitos y eritrófilos.
 - (d) Mieloides y macrófagos.
2. Las inmunoglobulinas son producidas por:
 - (a) Anticuerpos.
 - (b) Plasmocitos.
 - (c) Linfocitos T.
 - (d) Plaquetas.
3. El sistema inmunitario específico también se conoce como:
 - (a) Inmunidad linfática.
 - (b) Inmunidad mecánica.
 - (c) Inmunidad innata.
 - (d) Inmunidad adquirida.
4. El bazo es el órgano en el cual:
 - (a) Los linfocitos T maduran.
 - (b) Las células inmunitarias aprenden a reconocer las células “no propias.”
 - (c) Los ganglios linfáticos se desarrollan.
 - (d) Los eritrocitos muertos son eliminados.
5. La inmunoglobulina E:
 - (a) Inicia reacciones alérgicas.
 - (b) Activa el sistema del complemento.
 - (c) Fomenta la fagocitosis.
 - (d) Protege el cuerpo contra infecciones respiratorias.
6. Las células citolíticas naturales (NK) son:
 - (a) Anticuerpos.
 - (b) Eritrocitos.
 - (c) Linfocitos.
 - (d) Opsoninas.
7. La respuesta primaria a la infección:
 - (a) Se construye sobre una memoria de infecciones pasadas.
 - (b) AtaÑe sobre todo a anticuerpos IgG.
 - (c) Es un proceso pasivo.
 - (d) AtaÑe principalmente a anticuerpos IgM.
8. Inmunización es otro nombre para:
 - (a) La producción y desarrollo de inmunoglobulinas.
 - (b) Los anticuerpos.
 - (c) La vacunación.
 - (d) La maduración de linfocitos.
9. Citotoxicidad es el proceso de:

- (a) Memoria celular.
 - (b) Supresión celular.
 - (c) Destrucción celular.
 - (d) Desarrollo celular.
10. Los linfocitos T auxiliares:
- (a) Están cubiertos de glucoproteínas CD8.
 - (b) Están cubiertos de proteínas CD4.
 - (c) Son células citotóxicas.
 - (d) Son células inflamatorias.

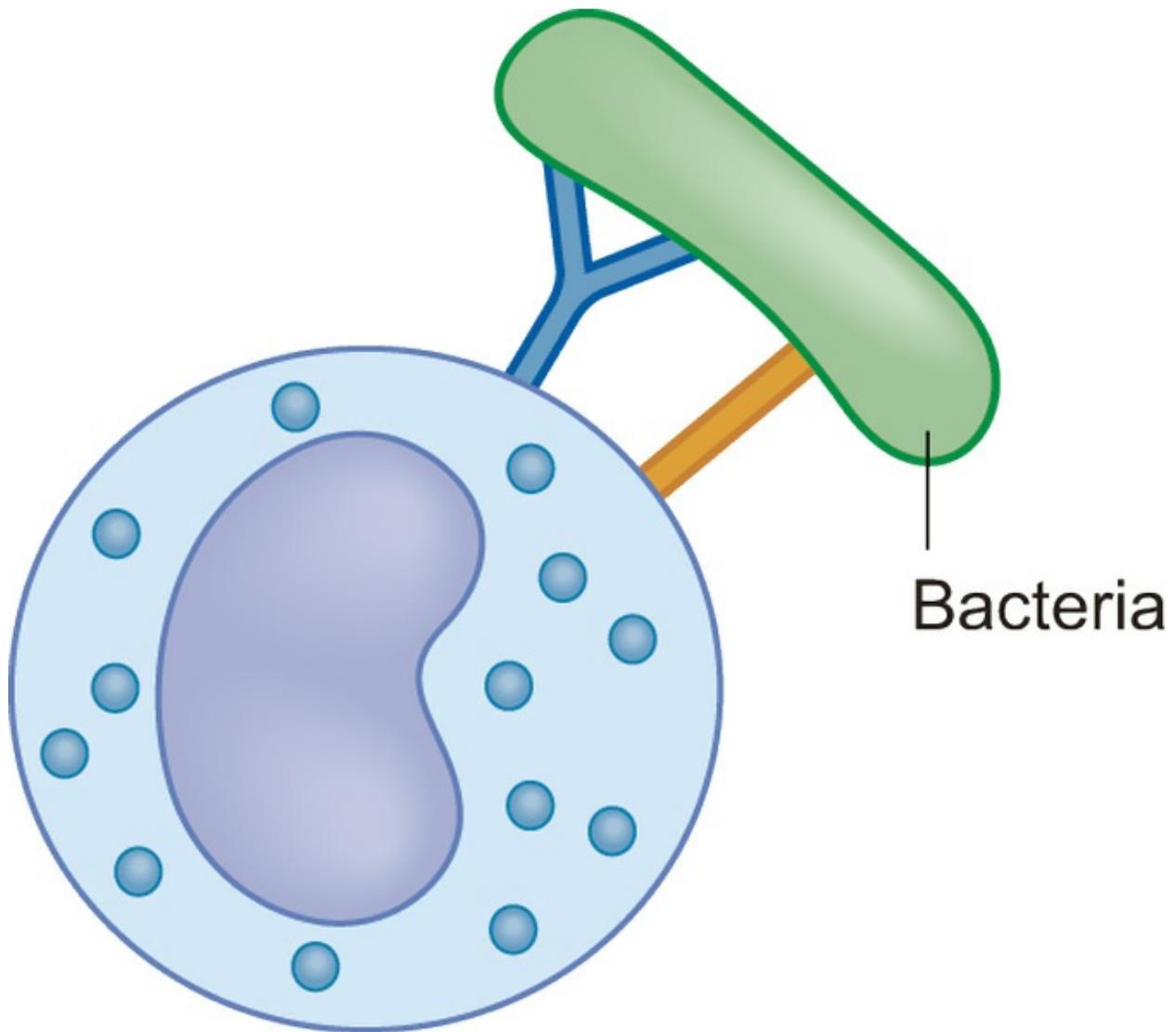
Falso o verdadero

1. Los fagocitos son eritrocitos.
2. El timo es donde los linfocitos T maduran.
3. Otro nombre de los anticuerpos es el de inmunoglobulinas.
4. Los leucocitos descienden de células madre omnipotentes.
5. Entre los macrófagos se incluyen monocitos y granulocitos.
6. Una rama de los linfocitos T se convierte en plasmocitos.
7. El bazo es un órgano linfático.
8. El conducto linfático derecho recibe linfa del brazo derecho.
9. El sistema linfático capacita a los linfocitos para proteger los tejidos contra las infecciones.
10. El estornudo es una barrera física del sistema inmunitario.

Rotule el diagrama

Usando la siguiente lista de palabras, rotule el diagrama de la primera etapa de la fagocitosis:

Anticuerpo, núcleo celular, complemento, fagocito, vesículas



Llene los espacios

Los granulocitos son de tres tipos: neutrófilos, _____ y basófilos. Estas células se llaman granulocitos porque, a gran aumento, parecen estar llenas de pequeños _____. Sin embargo, éstos son en realidad _____ (o espacios vacíos) dentro de las células, y tienen una participación muy importante en el proceso de _____, que es la destrucción de microorganismos _____, como _____ y virus. Lo primero que hacen es _____ antes de destruirlos; con ello también proporcionan _____ a la célula.

bacterias, engullirlos, eosinófilos, gránulos, infecciosos, nutrición, fagocitosis, vacuolas

Búsqueda de palabras

Encuentre las siguientes palabras en la rejilla:

Cilios, citotoxicidad, IgM, inflamación, linfocito, célula NK, ganglio, fagocitosis, plaquetas, bazo, lágrimas, timo

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | F | A | G | O | C | I | T | O | S | I | S | G |
| L | X | V | N | W | I | G | E | T | C | N | I | A |
| A | J | K | E | X | T | D | N | I | A | F | H | N |
| T | U | U | E | D | O | N | T | C | B | L | M | G |
| E | G | X | L | N | T | Y | I | O | M | A | R | L |
| S | Y | M | P | H | O | C | M | F | E | M | R | I |
| A | W | A | S | T | X | Y | O | N | X | A | S | O |
| M | S | O | I | L | I | C | Z | I | N | C | R | N |
| I | C | E | P | T | D | Y | A | L | X | I | G | M |
| R | R | A | I | L | A | C | B | V | L | O | G | M |
| G | S | R | A | E | D | S | Q | U | A | N | L | W |
| A | P | L | A | Q | U | E | T | A | S | N | V | X |
| L | C | E | L | U | L | A | N | K | K | C | E | L |

Para profundizar

1. ¿Cuál es la institución que determina los programas de inmunización en su país?
2. Encuentre las diferencias, en términos de causa, síntomas y tratamiento, entre la artritis reumatoide y la artrosis.
3. Explore los diferentes métodos de tratamiento con inmunoglobulinas para personas con trastornos de inmunodeficiencia primaria.
4. Busque las afecciones que se tratan con inmunoglobulinas, aparte de las inmunodeficiencias primarias.
5. ¿Qué es la anafilaxia y cómo se trata?
6. ¿Cuáles son las diferencias entre bacterias y virus, y cuáles son las diferencias en el modo en que se tratan estas enfermedades infecciosas?
7. ¿Cuál es el tratamiento normal para un paciente al que se diagnostica tuberculosis pulmonar (TB)?
8. Investigue y comente la política de aislamiento para el hospital, centro de salud, etc. en que usted trabaja o ha trabajado como parte de su formación como enfermera.
9. ¿Cómo pueden las enfermeras prevenir enfermedades infecciosas en hospitales y otras instituciones de salud, así como en casa?
10. Investigue más sobre el vínculo entre estrés (físico, social y psicológico) y el sistema inmunitario.

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con el sistema inmunitario. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

| |
|---------------------|
| Septicemia |
| Miastenia grave |
| Anemia perniciosa |
| Alergia cutánea |
| Fiebre del heno |
| Celiaquía |
| Esclerosis múltiple |
| Tuberculosis |



Capítulo 17

Piel

Ian Peate

Ponga a prueba sus conocimientos previos

- Nombre las capas de la piel
- Describa la función de la piel en la salud
- ¿Cuáles son las tres funciones clave de la piel?
- ¿De qué manera la piel defiende o ayuda a defender el cuerpo?
- ¿Por qué en ocasiones la radiación ultravioleta es nociva para la piel?
- ¿Cómo participa la piel en la termorregulación?
- Comente los cambios que sufre la piel con el envejecimiento
- ¿Qué es la melanina?
- ¿Cómo se regenera la piel?
- ¿De qué manera el pigmento da color a la piel?

Objetivos de aprendizaje

Después de estudiar este capítulo, el lector deberá ser capaz de:

- Comentar la anatomía y fisiología de la piel
- Describir las diversas funciones de la piel
- Analizar la estructura y el crecimiento de los anexos
- Explicar cómo funciona la piel como un mecanismo homeostático
- Delinear los factores que determinan el color de la piel

Mapa del cuerpo



Introducción

El sistema tegumentario se encuentra formado por la piel, uñas y los anexos, su función principal es la de proteger el cuerpo humano, ya que sin su mecanismo de protección el ser humano no sobreviviría. A menudo la piel es el único órgano que está expuesto todo el tiempo, y debido a ello puede revelar las emociones de la persona, por ejemplo al sonrojarse. También puede mostrar cómo se encuentra el individuo desde una perspectiva fisiológica, por ejemplo, si tiene cianosis. La piel es el órgano que suele estar más expuesto a las enfermedades o infecciones. Y es casi del todo impermeable al agua.

La piel tiene varios elementos homeostáticos; por ejemplo, puede regular la temperatura corporal, y a menudo se habla de la piel y sus anexos o apéndices. Éstos son modificaciones de la piel. LeMone and Burke (2011) sugieren que el adulto promedio tiene 2 m² de piel, que pesa unos 4.1 kg. La piel es dos veces más pesada que el encéfalo. Tiene unos 4.5 m de vasos sanguíneos, 3.6 m de nervios, 2.6 millones de glándulas sudoríparas, 1 500 receptores sensitivos y más de 3 millones de células que mueren y son remplazadas de manera continua. La piel recibe alrededor de un tercio de toda la sangre que fluye por el cuerpo (Rizzo, 2006).

La piel tiene una función vital en la salud y el bienestar del ser humano. Cualquier trastorno cutáneo puede acarrear problemas físicos, psicológicos o ambos, y esto a su vez tiene el potencial de incidir en la calidad de vida. Una casa requiere de ladrillos y concreto para actuar como una armazón, y sería de escasa utilidad si no fuera impermeable. Asimismo requiere protección contra el ambiente, y en el ser humano este trabajo es realizado por la piel. La piel es una barrera defensiva, que protege el cuerpo de los elementos y los patógenos. Realiza además varias otras funciones. Esta formada por epidermis, dermis e hipodermis. Antes de considerar las funciones de la piel, en la siguiente sección se analiza su estructura.

Aplicación clínica

Acné común

El acné común es un trastorno de los folículos pilosebáceos de la cara y parte superior del tronco. En la pubertad, los andrógenos aumentan la producción de sebo por las glándulas sebáceas, crecidas; éstas se bloquean e infectan, con el resultado de una reacción inflamatoria.

Carlos tiene 15 años y sufre acné común. Esto ha afectado su confianza en sí mismo, y su padre informa que se aparta al grado que teme ir a la escuela y que sus compañeros se burlen de él. El acné puede causar problemas psicológicos graves, y afectar la seguridad y la autoestima de la persona en un momento de su vida en que se encuentra vulnerable.

El bloqueo y distensión de los folículos por queratinocitos descamados de manera incompleta y sebo crea los llamados comedones. Éstos pueden ser abiertos (puntos negros) o cerrados (puntos blancos). La inflamación causa pápulas, pústulas y nódulos.

El acné es un trastorno leve y autolimitado; sin embargo, los adolescentes como Carlos son muy susceptibles a este trastorno, y por este motivo es esencial ser empático y dar

orientación y tranquilidad. En el caso de Carlos el problema era continuo, y requirió el envío a un dermatólogo, quien recomendó un tratamiento local y sistémico.

Estructura de la piel

Según Shier *et al.* (2013), la piel es uno de los órganos más polifacético del cuerpo. Consiste en dos regiones bien delimitadas: dermis y epidermis. La aponeurosis subcutánea (a veces llamada hipodermis) se localiza bajo la dermis (Colbert *et al.*, 2012). Estas masas de tejido conjuntivo laxo y tejido adiposo se unen a la piel y a los órganos subyacentes; no son parte de la piel.

Epidermis

La epidermis, la capa más superficial y delgada de la piel, es la parte expuesta. Si bien la piel cubre la totalidad del cuerpo, existen varias diferencias regionales, con diferentes características en cuanto a flexibilidad, distribución y tipo de pelo, densidad y tipos de glándulas, pigmentación, vascularidad, innervación y espesor (Jenkins *et al.*, 2013). La parte más delgada de la piel se encuentra en los párpados; aquí tiene sólo 0.5 mm de espesor, mientras que en los talones tiene 4.0 mm.

La epidermis es un epitelio, llamado epitelio pavimentoso estratificado queratinizado, y contiene cuatro tipos celulares clave (figura 17-1):

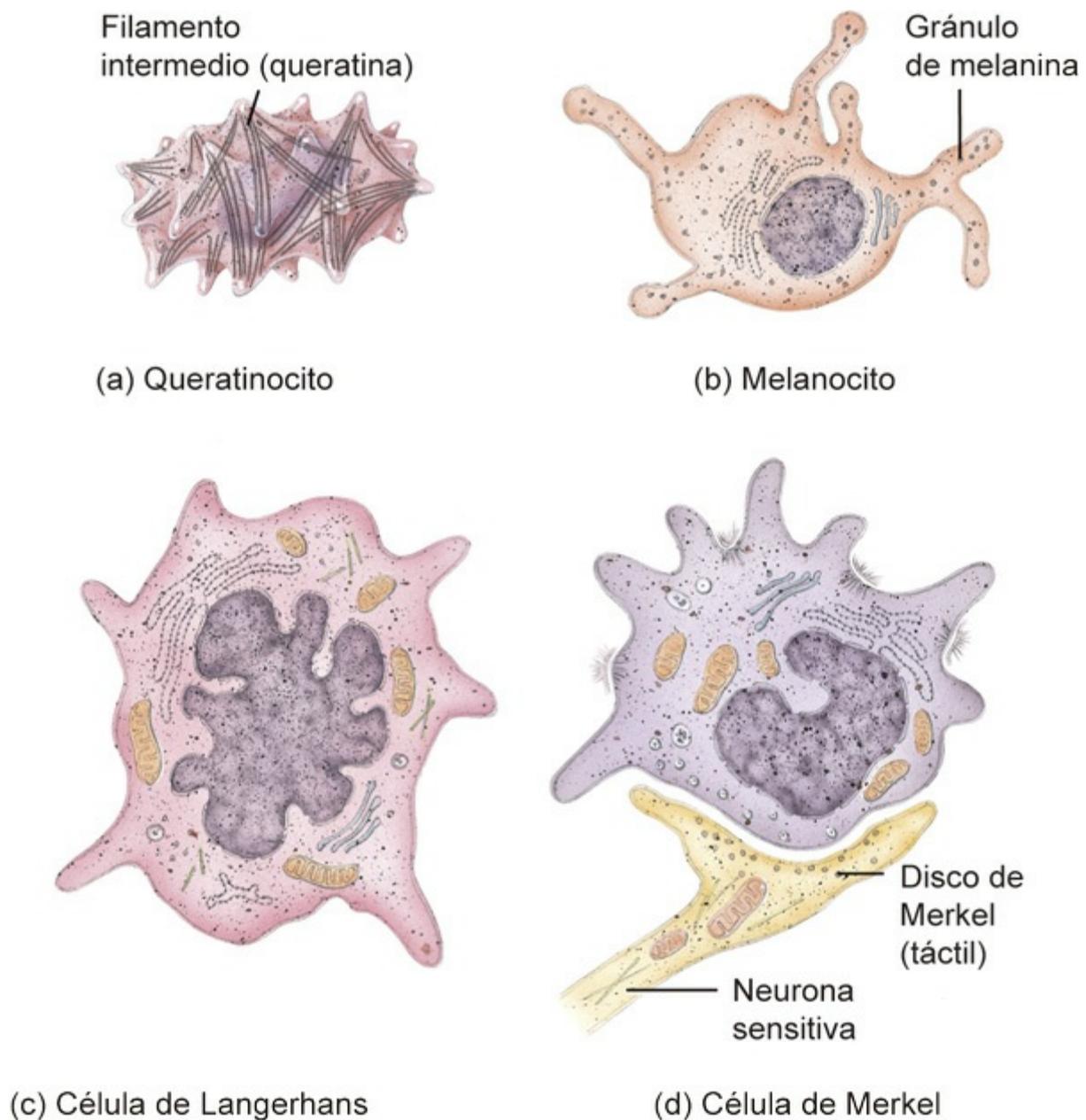


Figura 17-1. (a–d) Tipos de células de la epidermis. *Fuente:* Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

- Queratinocitos.
- Melanocitos.
- Células de Langerhans.
- Células de Merkel.

Queratinocitos

Estas células se organizan en cuatro capas. Se encargan de producir queratina, una proteína fibrosa resistente que ayuda a proteger la piel y los tejidos subyacentes contra el calor, microorganismos y sustancias químicas. A los queratinocitos se deben las propiedades impermeables de la piel, y actúan como una especie de sellador que reduce la entrada de agua, así como su pérdida. Además, impiden la entrada de materiales extraños.

Melanocitos

El embrión en desarrollo produce el pigmento llamado melanina en los melanocitos. Éstos son más abundantes en la epidermis del pene, pezones, areola, cara y extremidades. Los melanocitos tienen proyecciones largas y delgadas que se extienden entre los queratinocitos y tienen la capacidad de transferir gránulos de melanina. Ésta es la causa del color natural de la piel de la persona, y ayuda a protegerla de los efectos dañinos del sol.

Cuando la piel se ha expuesto mucho al sol, los melanocitos multiplican su cantidad de melanina a fin de absorber más rayos ultravioleta. Esta actividad oscurece la piel, dándole un aspecto bronceado. El bronceado indica que la piel ha sido dañada e intenta defenderse.

Todas las personas tienen aproximadamente la misma cantidad de melanocitos; los individuos morenos o de raza negra tienen el mismo número de melanocitos pero producen más melanina. Es la cantidad de melanina producida y el modo en que se distribuye lo que causa la variación en el color de la piel. Estas personas tienen más protección natural contra los dañinos rayos ultravioleta del sol. Los lunares (molas o nevos) son grupos o cúmulos de melanocitos muy cercanos entre sí. La mayoría de las personas de piel blanca tienen unos 10 a 50 lunares en la piel.

Aplicación clínica

Biopsia de piel

La biopsia de piel es una intervención en la cual se toma una muestra de tejido cutáneo, se procesa y se examina al microscopio; suele realizarse para diagnosticar cáncer de piel. Hay varios métodos que pueden usarse para obtener una muestra de piel; el elegido dependerá del tamaño y el sitio de la piel anormal (la lesión cutánea). Cuando la muestra se ha tomado se coloca en una solución (p. ej., de formaldehído) y se envía al laboratorio para su procesamiento y examen.

Se realiza una valoración del paciente antes de una biopsia de piel. No se requiere una preparación especial, pero el paciente debe firmar un formato de consentimiento.

Se limpia la piel, y puede usarse un marcador para delinear los bordes de la muestra. La intervención se realiza en condiciones estériles. Se inyecta un anestésico local y se toma la muestra; en algunos casos no se requiere sutura (p. ej., en una biopsia por raspado). El sitio de la biopsia se cubre entonces con un apósito estéril. En una biopsia con trocar o sacabocado puede haber la necesidad de suturar, según el tamaño de la muestra. En la biopsia excisional, puede aplicarse presión en el sitio hasta que el sangrado cese; se requerirá sutura para cerrar la herida.

Después de la intervención, se dan instrucciones específicas al paciente para el cuidado del sitio de la biopsia. Éste debe mantenerse limpio y seco hasta que cicatrice por completo. Debe contactarse a la clínica u hospital en que se realizó la biopsia si se presenta sangrado excesivo o drenaje a través de los apósitos. Si hay aumento en sensibilidad, dolor, enrojecimiento o tumefacción en el sitio de la biopsia debe consultarse a la enfermera o al médico responsable.

Células de Langerhans

Estas células son parte del sistema inmunitario, y se originan en la médula ósea roja (véase en el capítulo 5 lo relacionado con la médula ósea roja). Migran de la médula ósea a la epidermis y constituyen una pequeña proporción de las células epidérmicas. Las células de Langerhans regulan las inmunorreacciones en la piel como una defensa contra los microorganismos que la invaden (Lewis y Roberts, 2009); estas células son muy frágiles cuando se exponen al sol.

Las células de Langerhans procesan antígenos microbianos (ayudan a estimular los linfocitos); su función es ayudar a otras células del sistema inmunitario a reconocer y reaccionar ante los microorganismos y destruirlos.

Células de Merkel

Una célula de Merkel tiene la capacidad de establecer contacto con una proyección aplanada de una neurona sensitiva (contacto sináptico), una estructura llamada disco táctil (o célula de Merkel). Las células de Merkel y los discos táctiles (las células menos numerosas de la epidermis) son capaces de detectar sensaciones táctiles (Tortora y Derrickson, 2011).

Capas de la epidermis

Así como hay dos capas bien delimitadas de la piel –dermis y epidermis–, también hay varias capas bien definidas de queratinocitos. Estas capas se desarrollan con el tiempo y forman la epidermis. Se denominan estratos y son visibles al microscopio (figura 17-2).

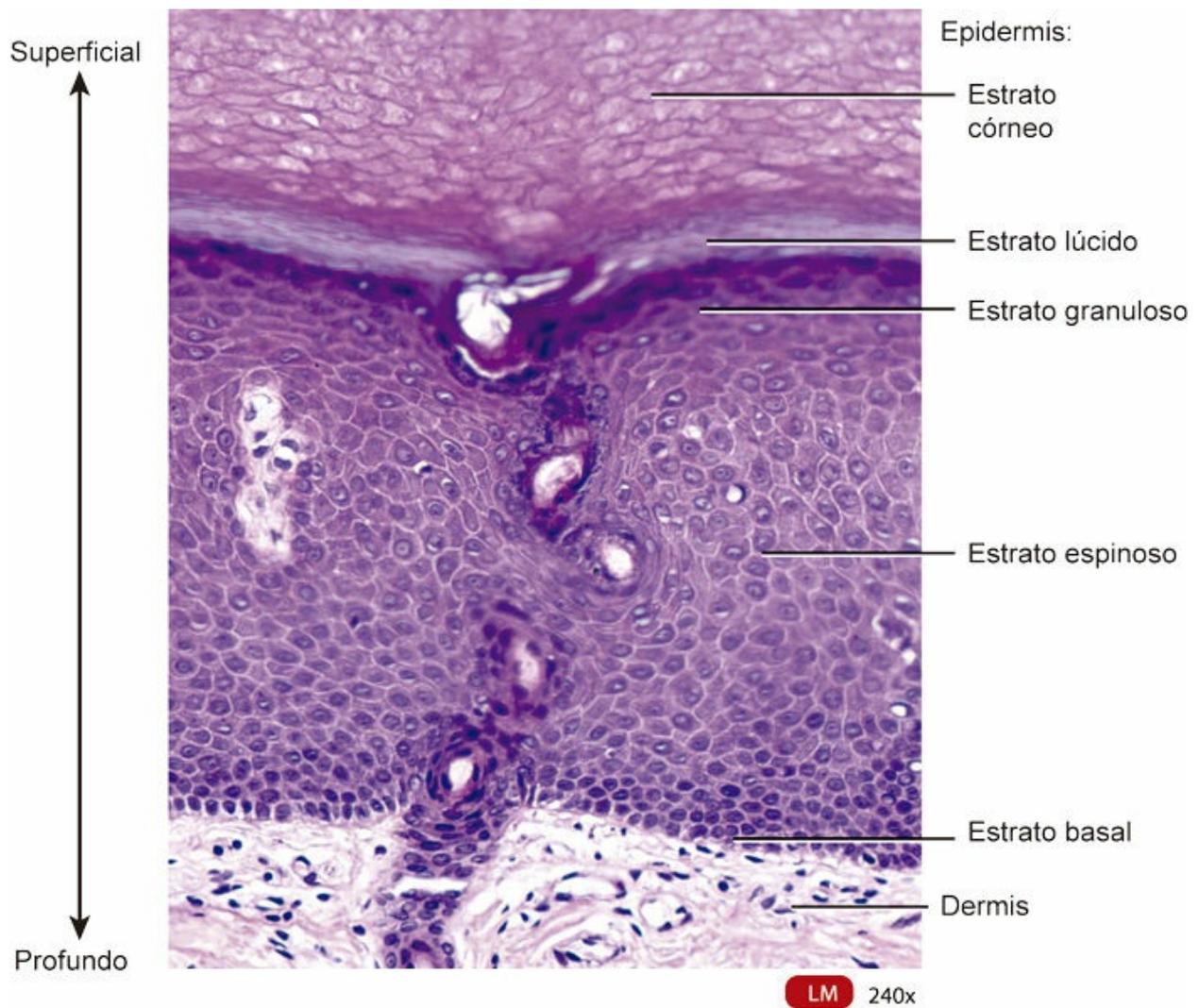


Figura 17-2. Perspectiva microscópica de la piel con los diversos estratos.
Fuente: Tortora y Derrickson (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Los niveles superficiales y más profundos de la piel son:

- Estrato basal.
- Estrato espinoso.
- Estrato granuloso.
- Estrato lúcido.
- Estrato córneo.

Éstos se consideran por separado, y en el cuadro 17-1 se presenta un panorama general de las capas de la epidermis.

Cuadro 17-1. Capas de la epidermis

| Capa | Ubicación | Descripción |
|------------------|----------------------|---|
| Estrato basal (a | La capa más profunda | Células cúbicas dispuestas en una sola fila; se |

| | | |
|--|---|--|
| veces llamado capa de células basales) | | dividen y crecen. El estrato basal también contiene melanocitos |
| Estrato espinoso | Arriba del estrato basal y abajo del estrato granuloso | Estos queratinocitos están apretadamente empacados, son planos y tienen proyecciones espiculadas (parecidas a espinas) |
| Estrato granuloso | Bajo el estrato córneo | Queratinocitos aplanados y apoptoicos , (ya que pierden su núcleo) dispuestos en 3 a 5 capas. Protegen el cuerpo contra la pérdida de agua y contra daños |
| Estrato lúcido | Cuando está presente, se sitúa entre el estrato córneo y el estrato granuloso | Estas células no se encuentran en plantas y palmas. Las células carecen de núcleo y están densamente empacadas |
| Estrato córneo | La más superficial de las capas | Varias capas de células epiteliales muertas queratinizadas. Estas células son aplanadas y carecen de núcleo |

Consideraciones clínicas

Higiene personal

Una de las funciones más importantes de la enfermera y el personal de salud es ayudar a las personas a asearse cuando tienen dificultades para hacerlo. El baño a menudo es visto como una tarea básica de enfermería; sin embargo, esta profesional debe considerarlo una actividad que requiere adiestramiento además de mucho razonamiento y evaluación de la persona a la que se atiende.

Entender la anatomía y fisiología de la piel y las complejidades relacionadas con este sistema puede ayudar a la enfermera a atender a sus pacientes. Cuando se ayuda a una persona a mantener la higiene personal es necesario asegurarse de no usar jabones u otros artículos que dañen o pudieran dañar la integridad de la piel. Esto incluye asegurarse de que la persona no es alérgica a ninguno de los productos elegidos para lavar y limpiar la piel. En la medida de lo posible la enfermera siempre debe preguntar al paciente si es alérgico a cualquier producto de higiene o para la piel, ya que algunas personas son alérgicas a alguna de las sustancias presentes en jabones y productos de higiene personal. Este elemento del suministro de cuidados requiere que la enfermera sea capaz de evaluar las necesidades del individuo.

Debe tenerse presente que algunos tipos de jabones tienen el mismo efecto en la piel que nadar en el mar. La piel en contacto con el jabón está expuesta a una alta concentración de glicerina, que puede extraer agua de la epidermis. El producto que se ha elegido para limpiar la piel puede tener un efecto nocivo en ésta, o inducir el desarrollo de algún trastorno cutáneo, por ejemplo dermatitis y eccema.

Estrato basal

El estrato basal descansa sobre la membrana basal y es la capa más profunda de

la epidermis; es una frontera bien definida entre la dermis y la epidermis. Consiste en una sola fila de queratinocitos cilíndricos. Las células (células madre) de la epidermis se originan de esta capa profunda. Constantemente se producen nuevas células; se dividen de manera continua (la regeneración constante de la piel), y empujan con lentitud las células más antiguas (llamadas células hijas) a través de las otras capas de la epidermis, hasta que llegan a la superficie.

Estrato espinoso

Por arriba del estrato basal se ubica el estrato espinoso. Los queratinocitos de esta capa tienen proyecciones espiculadas (en forma de espinas) y están empacados apretadamente aquí, una disposición que da resistencia y flexibilidad a la piel.

Estrato granuloso

La siguiente capa hacia el nivel superficial es el estrato granuloso, que tiene entre 3 y 5 capas de queratinocitos. Estas células contienen gránulos (de aquí el nombre estrato granuloso) que forman lípidos impermeables al agua (gránulos laminares), los cuales protegen el cuerpo contra la pérdida excesiva de agua y al mismo tiempo impiden la entrada de microorganismos. El aplanamiento de las células se debe a la presión ejercida desde abajo. Las células aquí sufren apoptosis; pierden el núcleo antes de morir, y se hacen compactas y quebradizas al moverse con lentitud hacia la superficie. Este proceso se conoce como queratinización. La piel se hace más resistente y fuerte, preparándose para realizar su función protectora. Esta capa se encuentra bajo el estrato lúcido.

Estrato lúcido

El estrato lúcido o capa clara se ubica bajo el estrato córneo, y tiene cinco capas de células muertas planas; esta capa no se encuentra en todo el cuerpo, sólo en zonas de piel gruesa, como los talones. Las células carecen de núcleo y están estrechamente empacadas, de modo que constituyen una barrera contra la pérdida de agua.

Estrato córneo

Es la capa más externa de la epidermis y consta de varias capas (unas 25) de células escamosas muertas y superpuestas entre sí. El principal componente de estas células muertas es la queratina; la mayor parte del líquido de estas células se ha perdido. Las células de las capas inferiores contienen alrededor de 70% de agua, mientras que esta capa tiene 20% (Rizzo, 2006). Estas células son muy resistentes y tienen consistencia córnea. La superficie está cubierta de lípidos, que constituyen una barrera protectora; esta capa aporta resistencia estructural. La fricción constante hace que esta capa se descame de manera continua.

El estrato córneo tiene otras funciones importantes, como la de actuar como

barrera física contra radiaciones solares y calor, microorganismos, sustancias químicas y lesiones. Se hace más grueso cuando se expone a la radiación solar intensa, de modo que actúa como una barrera contra los rayos ultravioleta. Si éstos llegan a la dermis, destruirán la proteína de la piel, lo cual puede causar cáncer cutáneo.

Dermis

La parte más profunda de la piel se llama dermis y se encuentra directamente abajo de la epidermis; de manera predominante consiste en tejido conjuntivo denso que contiene colágeno y fibras elásticas. Contenidos en la dermis hay:

- Vasos sanguíneos.
- Nervios.
- Vasos linfáticos.
- Músculos lisos.
- Glándulas sudoríparas.
- Folículos pilosos.
- Glándulas sebáceas.

El sistema elástico relacionado con la dermis soporta los componentes anteriores, además de permitir a la piel flexionarse con el movimiento y recuperar su forma normal en reposo. La dermis puede dividirse en dos capas:

- Estrato papilar.
- Estrato reticular.

El área superficial de la dermis aumenta mucho con las capas papilares, en forma de proyectiles; dichas capas conectan la dermis con la epidermis. Las huellas dactilares se originan en esta capa. El estrato más profundo de la dermis se une a la capa subcutánea. En la figura 17-3 se muestran la epidermis, la dermis y la capa subcutánea.

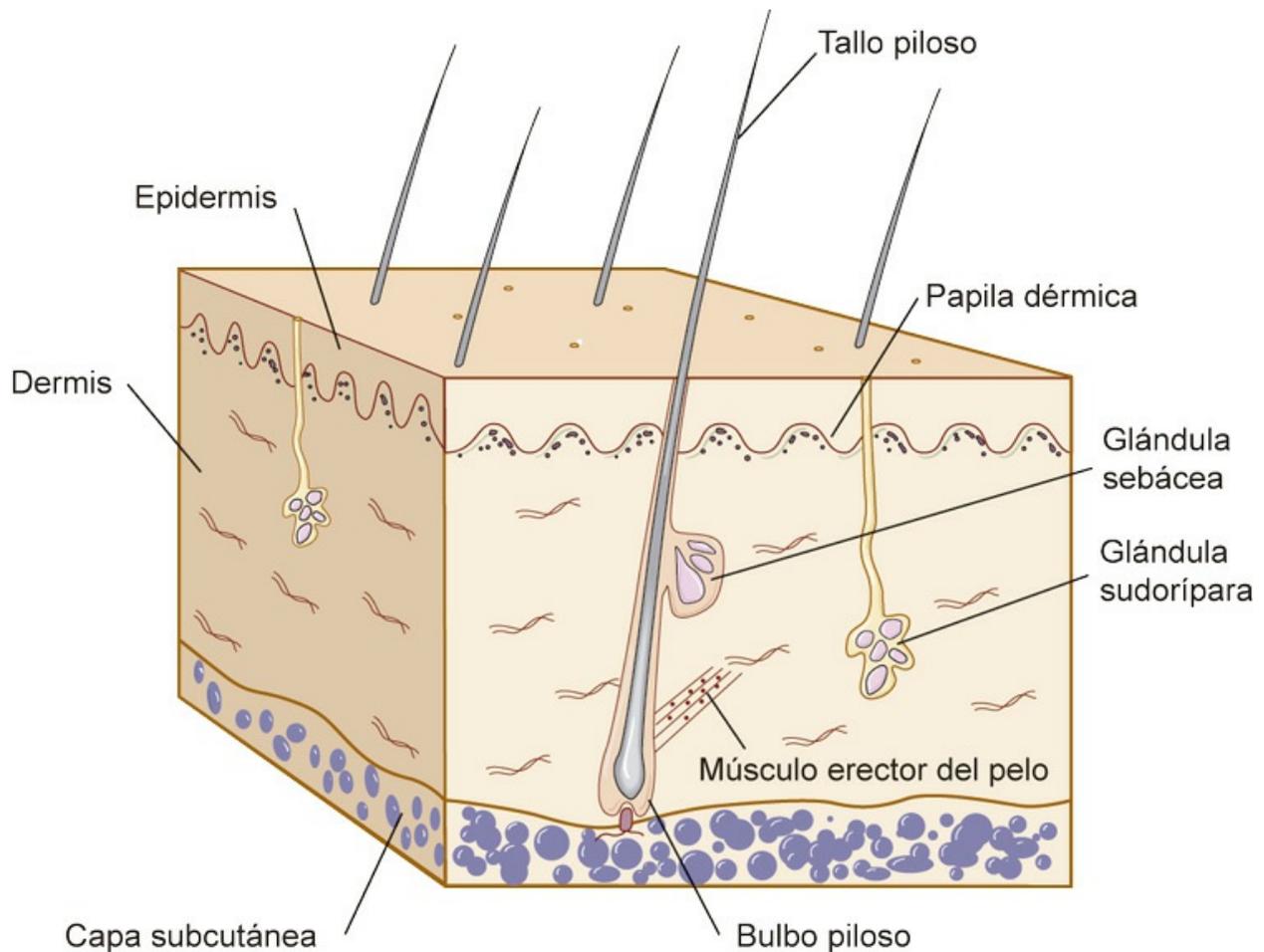


Figura 17-3. Tres capas de la piel: epidermis, dermis y capa subcutánea.
Fuente: Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Estratos papilar y reticular

Estos estratos de la dermis, según Tortora y Derrickson (2012), representan un quinto de la capa dérmica total, la capa superficial. Los bordes producidos por el estrato papilar también se conocen como bordes de fricción, que dan agarre a la mano y al pie al aumentar la fricción.

En el estrato papilar hay una red de capilares. Las papilas dérmicas también contienen corpúsculos de Meissner, que son receptores táctiles (de tacto). Las terminaciones nerviosas aquí son sensibles al tacto y a las sensaciones relacionadas con calor, frío, dolor y prurito.

Unidos a la capa subcutánea hay tejidos conjuntivos densos irregulares que contienen fibroblastos y haces de colágena, y una fibra elástica burda forma el estrato reticular. En esta capa se encuentran otros receptores sensitivos, por ejemplo, los receptores de Pacini para la presión profunda. Esta capa contiene glándulas sudoríparas, vasos linfáticos, músculo liso y folículos pilosos; éstos se denominan estructuras accesorias especializadas y se analizan enseguida.

Estructuras accesorias de la piel

Las estructuras accesorias también se conocen como anexos o apéndices. Las siguientes se delinearán en esta sección del capítulo:

- Pelo.
- Glándulas cutáneas.
- Uñas.

Pelo

Se encuentra pelo en la mayoría de las superficies corporales, excepto en las palmas de las manos, plantas de los pies y labios; la cantidad, distribución, color y textura varían con la localización, género, edad y grupo étnico. Hay diferentes tipos de pelo; el tipo más temprano se observa claramente hacia el quinto mes de desarrollo fetal. Conocido como lanugo, es un pelo muy fino, suave y no pigmentado que cubre el cuerpo del feto. Inmediatamente antes del nacimiento el lanugo de pestañas, cejas y piel cabelluda es remplazado por pelo grueso, más largo e intensamente pigmentado.

El pelo de la cabeza, o cabello, puede participar en el aspecto distintivo de la persona. El color del pelo es influido por los melanocitos que se hallan en el bulbo piloso. Una declinación progresiva de la melanina hace que el pelo se torne gris. El crecimiento del pelo es determinado por factores genéticos y hormonales.

Un pelo es una acumulación de queratina; cada pelo es un filamento de queratina formado por células en la base de un folículo individual (Timby, 2012). Existen varias funciones relacionadas con el pelo:

- Sexuales.
- Sociales.
- Termorreguladoras.
- De protección.

La principal función del pelo es reducir la pérdida de calor. La totalidad de la superficie de la piel tiene folículos pilosos; cada poro es la abertura de un folículo, situado de manera profunda en la dermis, encima de la capa subcutánea. Cuando escapa calor del cuerpo por la piel es atrapado por el aire entre los pelos. Cada glándula está unida a un pequeño músculo erector del pelo. Estos músculos se contraen y yerguen en respuesta al frío, miedo o emociones. Su contracción puede verse en la forma de “piel de gallina”.

El cabello protege la piel cabelluda contra los efectos dañinos del sol. Los pelos de pestañas y cejas ayudan a impedir la entrada de partículas extrañas a los ojos, y los pelos de las narinas contribuyen a evitar la inhalación de partículas extrañas (p. ej., insectos).

Las glándulas sebáceas acompañan a los folículos pilosos, y exudan sebo (un lípido líquido) que lubrica la piel y al mismo tiempo asegura que ésta y el pelo

sean impermeables, además de eliminar desechos (p. ej. células muertas). El sebo es una sustancia ligeramente ácida con propiedades antibacterianas y antimicóticas (Page, 2006). La distribución de las glándulas sebáceas varía. Predominan en piel cabelluda, cara, parte superior del torso y región anogenital, y tienen su máxima actividad durante la pubertad. Lawton (2006) y Page (2006) señalan que la producción de sebo es influida por las concentraciones de hormonas sexuales. En la figura 17-4 se muestra una unidad pilosebácea, constituida por un folículo, tallo piloso, una glándula sebácea y el músculo erector del pelo (piloerector).

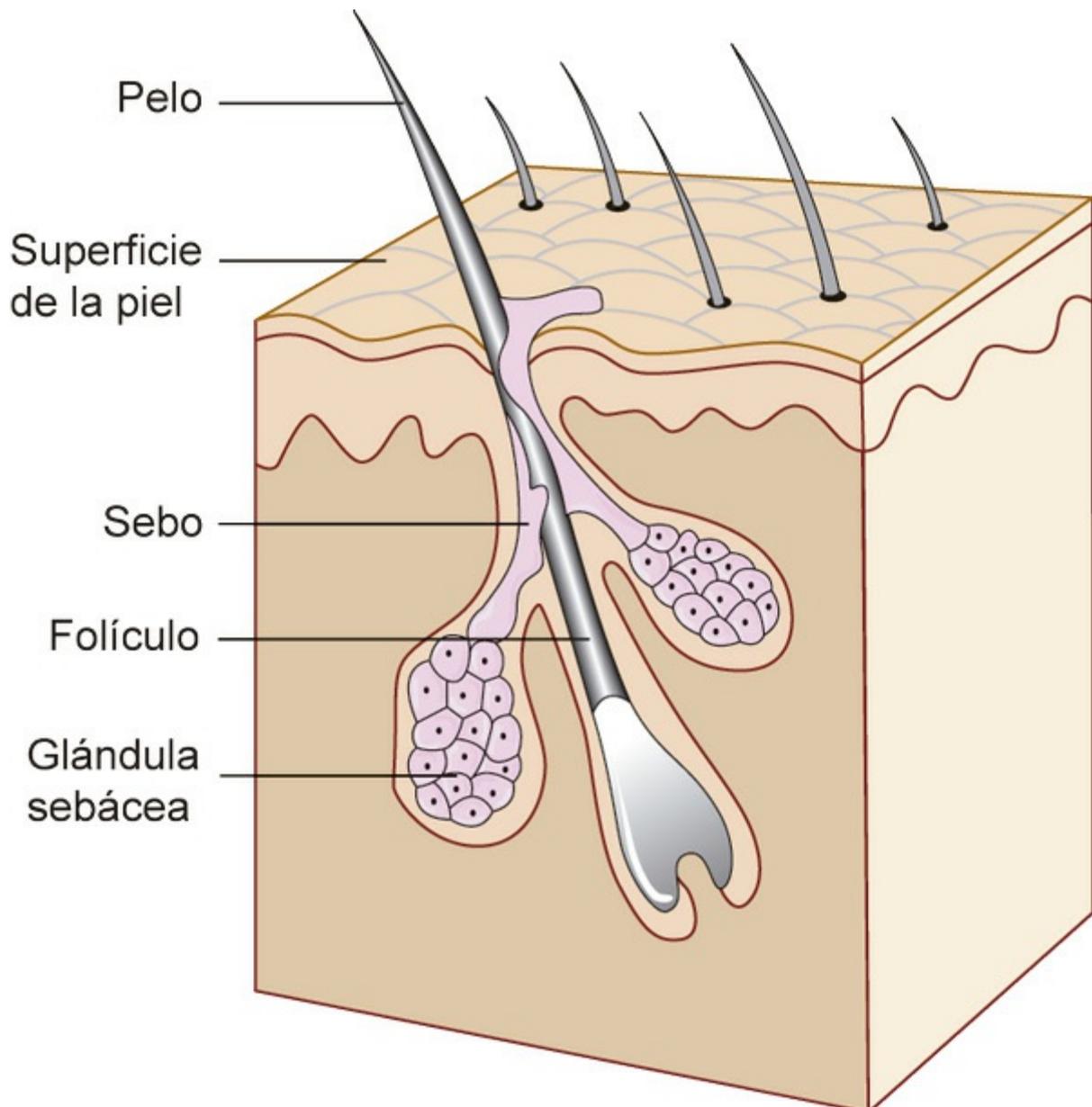


Figura 17-4. Unidad pilosebácea. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La base del bulbo en forma de cebolla, el folículo, contiene vasos sanguíneos, que nutren el pelo en desarrollo.

Glándulas cutáneas

Hay muchas glándulas en la piel, que pueden considerarse órganos cutáneos en miniatura con muchas funciones. Las glándulas sudoríparas son tubos enrollados que están formados por tejido epitelial y abiertos a poros en la superficie de la piel (figura 17-5). Todas las glándulas tienen inervación e irrigación individuales, y secretan un líquido ligeramente ácido constituido por agua y sales.

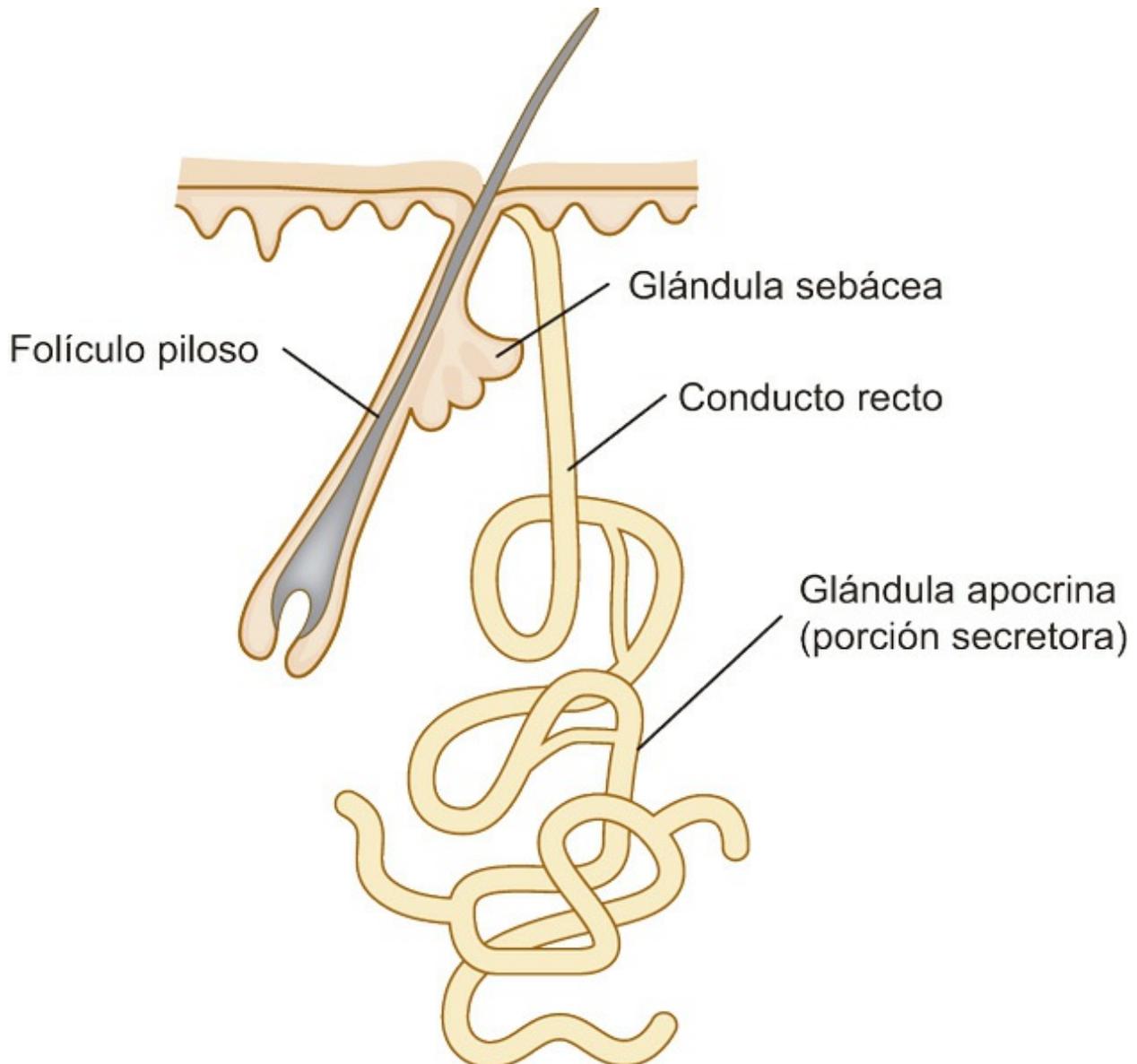


Figura 17-5. Una glándula sudorípara. *Fuente:* Nair y Peate (2009).
Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

Hay dos clases de glándulas sudoríparas: ecrinas y apocrinas.

Glándulas ecrinas

La reacción al calor y al miedo, y la producción de secreciones por las glándulas

ecrinas, ocurren en respuesta a la actividad del sistema nervioso simpático. Este tipo de glándula se localiza en todo el cuerpo; sin embargo existen sitios en que es más abundante, por ejemplo, en la frente, axilas, plantas y palmas.

La principal función de las glándulas ecrinas se relaciona con la termorregulación. Ésta se realiza a través del efecto enfriador de la evaporación del sudor en la superficie de la piel. En caso de calor, estrés, actividad física y fiebre estas glándulas producen más sudor.

Glándulas apocrinas

Las glándulas apocrinas también están enrolladas; no hay tantas de éstas como de las glándulas ecrinas, y se encuentran en sitios más localizados, por ejemplo, las zonas púbica y axilar, pezones y perineo. No se comprende del todo la función exacta de las glándulas apocrinas. Son poco activas antes de la pubertad, y más grandes y profundas que las glándulas ecrinas, además de que sus secreciones son más espesas. En periodos de estrés y en estados de intensa emoción estas glándulas producen más sudor.

Existen varios tipos modificados de glándulas apocrinas (tipos especializados); por ejemplo, las que se encuentran en los párpados, las productoras de cerumen en el conducto auditivo externo, y las productoras de leche en las mamas.

Las glándulas apocrinas se desarrollan primero en las plantas y palmas y luego aparecen de manera gradual en el resto del cuerpo. Se entiende que secretan feromonas; éstas se liberan en el ambiente externo, y permiten la comunicación olfativa con otros miembros de la especie al inducir varias reacciones, incluida la excitación sexual. Se excreta un material viscoso que genera olor corporal cuando es activado por bacterias en la superficie.

Uñas

Las uñas son una cubierta protectora en los extremos de los dedos de manos y pies. Consisten de células epidérmicas queratinizadas duras, muertas y densamente empacadas, que forman una lámina sólida limpia sobre los dedos (figura 17-6).

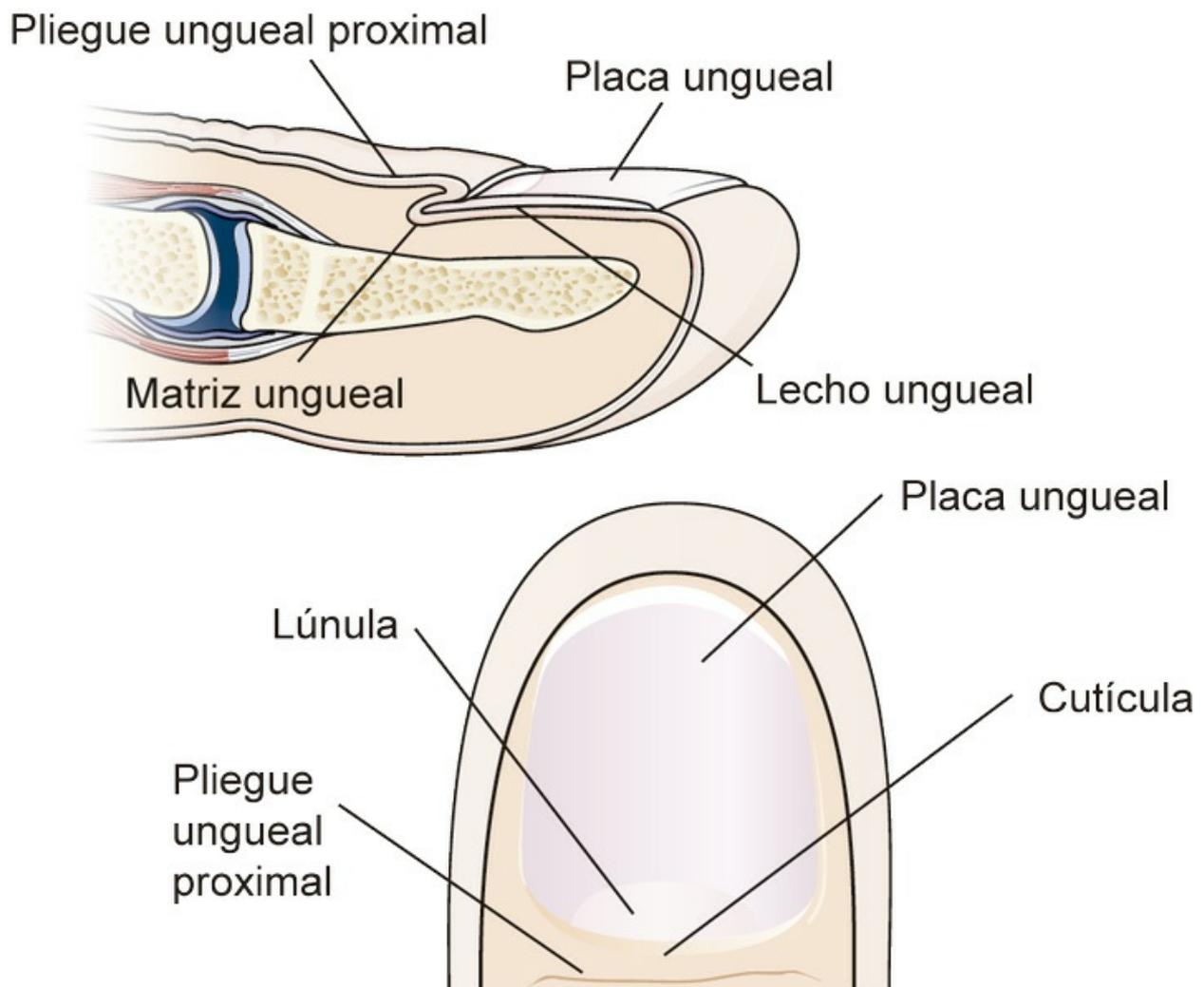


Figura 17-6. La uña. *Fuente:* Nair y Peate (2009). Reproducida con permiso de John Wiley & Sons.

La estructura córnea de las uñas se debe a su alta concentración de queratina; no hay terminaciones nerviosas en las uñas. Lawton (2006) señala que las uñas actúan como contrafuertes para las puntas de los dedos, que sí tienen numerosas terminaciones nerviosas las cuales permiten a la persona recibir información sobre los objetos que se tocan.

La mayor parte del cuerpo de la uña es de color rosa, debido a los capilares sanguíneos subyacentes. La luna creciente en los extremos proximales de la uña se conoce como lúnula y se debe a la presencia de aire en la matriz de queratina. El tamaño de la lúnula varía de un individuo a otro. La cutícula (también llamada eponiquio) es estrato córneo que se extiende sobre el extremo proximal del cuerpo de la uña.

Las uñas de las manos crecen más rápido que las de los pies; cuando la persona envejece, el crecimiento de las uñas se hace más lento. El ritmo de crecimiento varía; en promedio es de 0.01 cm al día (1 cm en 100 días). Se requieren 4 a 6 meses para que las uñas de las manos vuelvan a cubrir los lechos ungueales; en el caso de las uñas de los pies ese lapso es de 12 a 18 meses. Hay varios factores que influyen en el crecimiento, como la edad del individuo, época del año, nivel de actividad física, y factores hereditarios (Haneke, 2006). El crecimiento de las

uñas puede demorarse por un traumatismo e inflamación; los cambios en la integridad de las uñas pueden ser causados por lesión o infección. En algunos casos, la condición de las uñas da indicios sobre la presencia de enfermedades sistémicas, por ejemplo una enfermedad cardiopulmonar crónica o una infección micótica (Timby, 2012).

Aplicación clínica

Tiempo de llenado capilar del lecho ungueal (prueba de blanqueo de la uña)

Esta prueba se realiza en los lechos ungueales como un indicador del riego tisular.

Se explica la prueba al paciente; la enfermera o el personal de salud le indica que se aplicará una ligera presión al lecho ungueal y que ello no causará incomodidad. Debe retirarse el barniz de las uñas (si está presente) antes de realizar la prueba.

Se aplica presión con suavidad al lecho ungueal hasta que pierda color, lo que indica que la sangre se ha forzado a salir del tejido. Una vez que el tejido se ha blanqueado, se retira la presión. Mientras el paciente mantiene la mano arriba del nivel del corazón, la enfermera o el personal de salud mide el tiempo que tarda la sangre en volver al tejido. El retorno de la sangre es indicado por la recuperación del color rosado de la uña. Si el flujo sanguíneo a la uña es adecuado, el color rosado debe volver menos de 2 s después de retirar la presión.

Cualesquiera anomalías deben informarse a la persona a cargo. El resultado de la prueba se documenta en las notas relacionadas.

Funciones de la piel

Un conocimiento básico de la estructura de la piel permitirá al lector comenzar a entender las numerosas funciones de la piel. Entre éstas se incluyen:

- Sensación.
- Termorregulación.
- Protección.
- Excreción y absorción.
- Síntesis de vitamina D.

Sensación

Hay varios sitios receptores en la piel con la capacidad de percibir cambios de temperatura y presión en el ambiente externo; estos receptores dispersos por toda la piel están formados por una amplia gama de terminaciones nerviosas. Los mensajes captados en la piel suelen transferirse después al encéfalo. En el capítulo 14 se consideran los sentidos con mayor detalle.

Las sensaciones que se originan en la piel se conocen como sensaciones cutáneas; otras son las relacionadas con la vibración, cosquilleo e irritación. Hay algunas zonas del cuerpo que tienen más receptores sensitivos que otras; por ejemplo los labios, genitales y puntas de los dedos. La sensación de dolor puede indicar lesión tisular real o potencial.

Manejo de medicamentos

Esteroides tópicos

Los esteroides tópicos se usan además de emolientes (humectantes) para tratar afecciones de la piel como el eccema. Estos fármacos reducen la inflamación cutánea. Existen cremas, ungüentos y lociones que contienen esteroides; actúan reduciendo la inflamación de la piel. Los esteroides que reducen la inflamación también se conocen como corticosteroides.

Se agrupan en general en cuatro categorías, según su potencia: suaves, moderadamente potentes, potentes y muy potentes. Hay diversas marcas y tipos en cada categoría. Por ejemplo, la crema de hidrocortisona al 1% es de uso común y se clasifica como esteroide tópico suave. A mayor potencia mayor efecto reductor de la inflamación, pero mayor riesgo de efectos secundarios con el uso continuo. Las cremas suelen ser mejores para tratar zonas húmedas o exudativas de la piel. Los ungüentos suelen ser mejores para tratar zonas de la piel secas o engrosadas. Las lociones son útiles para tratar zonas pilosas, como la piel cabelluda.

Es común usar primero el esteroide tópico con la potencia más baja. Por ejemplo, la hidrocortisona al 1% es de uso frecuente, en particular en niños. Puede prescribirse un esteroide tópico más potente si no hay mejoría después de 3 a 7 días, o desde el principio en casos graves. En ocasiones se usan al mismo tiempo dos o más preparados con distintas potencias, por ejemplo un esteroide suave para la cara y uno de potencia moderada para placas de eccema en la piel más gruesa de brazos o piernas. A menudo es necesario un esteroide tópico muy potente para eccema de palmas y plantas del adulto, ya que estas zonas tienen la piel gruesa.

En la mayoría de los casos, un tratamiento de 7 a 14 días basta para suprimir una exacerbación de eccema. En ocasiones se necesita un tratamiento más prolongado. Muchas personas con eccema requieren un tratamiento con esteroides tópicos para combatir una exacerbación. La frecuencia y el número de veces que se requiere tratamiento con esteroides tópicos dependen de cada caso.

Los tratamientos breves con esteroides tópicos suelen ser seguros y no causar problemas. Éstos pueden presentarse si los esteroides tópicos se usan por periodos prolongados, o si se repiten con frecuencia tratamientos breves con esteroides fuertes. Son raros los efectos secundarios de los esteroides tópicos suaves. Pueden ser locales o sistémicos.

Termorregulación

La piel participa en la homeostasis mediante la termorregulación, al ayudar a mantener la temperatura del cuerpo dentro de márgenes estrechos, adaptándose o ajustándose cuando la persona emprende diferentes actividades. La termorregulación eficaz es esencial para la supervivencia; los cambios de temperatura pueden influir para modificar el funcionamiento de enzimas y, de este modo, tener un impacto en la composición química de las células. La piel actúa como un regulador de temperatura mediante una gama de actividades complejas e integradas.

Los cambios en el tamaño de los vasos sanguíneos de la piel pueden ayudar a regular la temperatura. Cuando la temperatura corporal aumenta, los vasos sanguíneos se dilatan (lo que se conoce como vasodilatación); éste es un mecanismo de defensa corporal multifacético con el que se intenta movilizar sangre caliente de los tejidos más profundos bajo la superficie de la piel para enfriarla: la superficie de la piel es más fría, ya que el calor radia desde el cuerpo. Mientras esto sucede, las glándulas sudoríparas secretan agua en la superficie de la piel. Ocurre evaporación y, como resultado, también enfriamiento.

Lo opuesto ocurre cuando la persona esté en un ambiente frío. Los vasos sanguíneos se constriñen –vasoconstricción– y la sangre permanece más cerca del centro del cuerpo, preservando el calor.

El pelo (como se describió antes) tiene una importante función en la termorregulación. Cuando los músculos erectores son estimulados para contraerse, los pelos se yerguen y atrapan bolsas de aire. El aire atrapado aísla la piel de la atmósfera, más fría.

Manejo de medicamentos

Parches transdérmicos

La administración transdérmica de medicamentos (parches cutáneos) permite un suministro continuo y consistente de fármacos a través de la piel hacia el torrente sanguíneo. Al aplicar la medicación la enfermera debe seguir las instrucciones del fabricante y:

- Apegarse a las “cinco acciones correctas” en la administración de fármacos.

- Respetar la privacidad, realizar la higiene de manos y explicar la intervención.
- Usar guantes. Si procede, retirar el parche anterior y eliminarlo según procedimientos indicados.
- Seleccionar un nuevo sitio para el parche en una superficie plana, como pecho, espalda, flanco o antebrazo. Rotar los sitios durante el tratamiento.
- Asegurarse de que la piel esté intacta, no irritada y no irradiada.
- Evitar en lo posible las zonas velludas, o afeitarse o cortar el pelo excesivo.
- Si el sitio debe someterse a aseo antes de la aplicación, usar sólo agua limpia; dejar que la piel seque por completo.
- Extraer el parche de su empaque y desprender la mitad de su cubierta protectora.
- Colocar en la piel el lado con el adhesivo, y luego desprender la otra mitad de la cubierta. Comprimir firmemente el parche cutáneo con la palma al menos por 30 s, asegurándose de que se adhiera a la piel, en particular en los bordes.
- Quitarse los guantes y realizar la higiene de manos.
- Documentar la administración del fármaco conforme a las políticas de la institución.

Protección

Existen muchas maneras en que la piel protege el organismo, varias de las cuales ya se consideraron, como la capacidad de la piel para producir melanina contra los efectos nocivos de la radiación ultravioleta. A través de su capacidad de intensificar el reemplazo celular normal cuando es necesario y la capacidad de desprender la piel muerta e inducir la migración de células, la piel mantiene la integridad del organismo. La cicatrización de heridas es un ejemplo de mecanismo protector de la piel.

Al eliminar productos de desecho por los poros (de los cuales hay más de 2 millones), la piel puede ayudar a proteger el cuerpo contra la acumulación de sustancias tóxicas. Asimismo, la piel tiene la capacidad de evitar el escape de líquidos corporales, con lo que previene la deshidratación y ayuda a regular la cantidad de líquido a través del contenido y el volumen del sudor producido. Como barrera impermeable, la piel también puede asegurar que no entren en el cuerpo líquidos y sustancias nocivos presentes en el ambiente.

Consideraciones clínicas

Deshidratación

Muchas personas en distintos ambientes de cuidados están propensas a la deshidratación. El anciano está particularmente en riesgo, y la función de la enfermera es prevenir e identificar esta situación y tomar medidas para remediar cualquier déficit; será necesario que valore, planee, ejecute y evalúe la atención.

Para realizar una valoración segura y eficaz la enfermera debe usar diversas habilidades: se requiere que observe, mida y haga preguntas (Lapin, 2014). La piel puede decir mucho acerca de la persona que se atiende. Es posible establecer un diagnóstico de deshidratación observando la piel de los pacientes, aunque no es la única herramienta diagnóstica y no debe ser la única que se use. Los signos clásicos de deshidratación en ancianos son la ausencia de rebote de la piel (también descrita como pérdida de la turgencia cutánea), aumento de la sed, diuresis reducida, taquicardia e hipotensión; también es posible que la

persona esté confundida.

Quizá la piel carezca de su elasticidad normal y vuelva a su posición habitual con lentitud cuando se pellizca con suavidad en un pliegue en caso de ausencia de turgencia cutánea. En condiciones normales, la piel regresa a su posición en una persona hidratada. Debe tenerse cuidado de no dañar a la persona cuando se trata de valorar y diagnosticarla.

El sebo (una sustancia oleosa) secretado por la piel tiene componentes capaces de destruir bacterias en su superficie. Cuando se produce sudor, el pH ácido tiene la capacidad de frenar la proliferación de bacterias. Macrófagos fagocíticos presentes en la dermis tienen la capacidad de ingerir y destruir virus y bacterias que han penetrado la superficie de la piel.

Excreción y absorción

Algunos elementos de secreción y absorción ya se han mencionado con respecto a la función protectora de la piel. Ésta tiene la capacidad de excretar sustancias del cuerpo; el sudor está formado por agua, sodio, dióxido de carbono, amoníaco y urea. Jenkins *et al.* (2013) señalan que el cuerpo (pese a su naturaleza casi impermeable) puede excretar unos 400 mL de agua al día; quienes tienen un modo de vida poco activo pierden menos, y una persona activa perderá más.

La piel también tiene la capacidad de absorber sustancias del ambiente. Absorbe materiales del medio externo hacia las células corporales, y algunas de esas sustancias son tóxicas cuando se absorben, por ejemplo metales pesados como el plomo y el mercurio. Hay sustancias terapéuticas y no terapéuticas que pueden absorberse por la piel. Son ejemplos las vitaminas liposolubles –A, D, E y K–, oxígeno y dióxido de carbono.

Manejo de medicamentos

Administración tópica de fármacos

Algunos medicamentos deben administrarse en la piel. Entre ellos se incluyen ungüentos, lociones, cremas y geles. La aplicación de medicamentos por la piel mediante un parche adhesivo se usa en varias áreas corporales. Todos esos fármacos están sujetos a las mismas reglas y normas relativas a la administración de cualquier medicamento. Se aplican fármacos a la piel para tratar afecciones cutáneas, y se conocen como medicamentos tópicos; se administran de manera externa al cuerpo a diferencia de los que se ingieren o inyectan.

Las lociones se usan para proteger, suavizar y relajar y en ocasiones para aliviar el prurito. Los ungüentos tienen una base de aceite y el calor corporal hace que se derritan después de aplicarlos; a menudo, esos medicamentos se emplean para combatir infecciones o aliviar tejidos inflamados. Debe usarse guantes cuando se apliquen estos fármacos; se administran en capas delgadas uniformes, a menos que la prescripción indique otra cosa (Nair, 2014).

La mayoría de los medicamentos para la piel se expenden en tubos; un tubo debe ser usado por una sola persona a fin de prevenir la infección cruzada. Algunos fármacos cutáneos deben ser estériles; cuando éste es el caso, el medicamento sobrante después de la aplicación debe desecharse.

Cuando se aplique el medicamento debe tenerse cuidado de no incrementar la incomodidad aplicando demasiada presión, frotando zonas inflamadas o causando dolor al paciente.

Síntesis de vitamina D

La piel participa activamente en la producción de vitamina D. Para que la síntesis de vitamina D sea eficaz, se requiere la activación (por medio de rayos ultravioleta del sol) de una molécula precursora en la piel (radiación ultravioleta). Enzimas renales y hepáticas modifican las moléculas, produciendo calcitriol. El calcitriol (una hormona) ayuda a la absorción sanguínea del calcio de los alimentos en los intestinos.

Conclusión

La piel es un órgano excepcional; también se le conoce como sistema tegumentario. Diversas enfermedades y lesiones se detectan con facilidad en la superficie de la piel; por ejemplo, un exantema cutáneo, ictericia o cianosis. Es el órgano más grande del cuerpo en términos de peso y de área superficial. La piel tiene la capacidad de revelar cómo se siente la persona y cuál es su estado emocional; el ser humano se ruboriza, suda y tiembla. Ningún otro órgano del cuerpo se observa o palpa con tanta facilidad como la piel; la piel está también más expuesta a lesiones, infecciones y traumatismos.

Este órgano la conexión entre el ambiente externo y el interno. La piel contribuye a la homeostasis del cuerpo, y sus cambios físicos pueden indicar un desequilibrio homeostático. La piel tiene además estructuras accesorias y especializadas, por ejemplo las uñas y varias glándulas; algunas veces se les llama anexos o apéndices.

La piel tiene la capacidad de permitir a la persona experimentar placer, dolor y otros estímulos del ambiente externo.

Glosario

- Absorción.** Ingreso de líquidos u otros materiales en las células de la piel.
- Apocrina.** Tipo de glándula presente en la piel; se trata de glándulas sudoríparas.
- Aponeurosis.** Membrana fibrosa que cubre, sostiene y separa músculos.
- Apoptosis.** Muerte celular ordenada por el núcleo de una célula que funcionaba normalmente.
- Calcitonina.** Hormona que participa en el metabolismo del calcio.
- Cerumen.** Cera secretada por las glándulas ceruminosas del oído.
- Cianosis.** Color azul de la piel y las membranas mucosas por falta de oxígeno.
- Colágena.** Proteína que es el principal componente del tejido conjuntivo.
- Cutáneo.** Relativo a la piel.
- Dermatitis.** Inflamación de la piel.
- Enzima.** Sustancia que acelera reacciones químicas.
- Eritema.** Enrojecimiento.
- Estrato.** Capa.
- Excreción.** Proceso de eliminación de productos de desecho del cuerpo.
- Extrínseco.** Que se origina externamente.
- Fagocitosis.** Acto de ingerir y destruir microorganismos (un fagocito).
- Feromonas.** Sustancias que inducen una respuesta conductual innata en otros organismos.
- Hiperqueratosis.** Producción excesiva de queratinas, con el resultado de engrosamiento de la piel.
- Homeostasis.** Capacidad de mantener un ambiente interno en equilibrio constante.
- Inervación.** Presencia de terminaciones nerviosas.
- Intrínseco.** Que se origina internamente.
- Lanugo.** Pelo fino y suave que cubre al recién nacido o neonato.
- Lúnula.** Zona blanca en forma de luna creciente en la base de las uñas.
- Melanina.** Pigmento presente en algunas partes del cuerpo, como la piel y el pelo.
- Metabolismo.** Conjunto de reacciones químicas que ocurren en el organismo, necesarias para mantener la vida.
- Músculo erector del pelo.** Músculo microscópico unido a un folículo piloso.
- Organismo.** Un ser vivo completo; también, el cuerpo humano.
- Órgano.** Estructura constituida por dos o más tipos de tejido con una función específica y forma característica.
- Patógeno.** Organismo causal de una enfermedad.
- Pelo** Estructura en forma de hilo producida por los folículos pilosos que surgen de la dermis.
- Proliferación.** Reproducción rápida y repetida de células.
- Pronóstico.** Predicción sobre el avance de una enfermedad o el resultado de un tratamiento.
- Prurito.** Comezón.
- Queratina.** Proteína insoluble resistente localizada en pelo y uñas y otras zonas queratinizadas del cuerpo.
- Queratinizar.** Convertir en queratina.

Sebo. Sustancia oleosa formada por grasa y los desechos de células productoras de grasa de las glándulas sebáceas.

Táctil. Relacionado con el sentido del tacto.

Tegumento. Cubierta externa del cuerpo, relacionada con la piel.

Termorreceptor Receptor sensitivo que tiene la capacidad de detectar cambios de calor.

Termorregulación. Capacidad de regular la temperatura.

Uña. Placa dura en la punta de los dedos, consistente de queratina.

Vasoconstricción. Reducción en el diámetro de vasos sanguíneos.

Vasodilatación. Aumento en el diámetro de vasos sanguíneos.

Bibliografía

- Colbert, B.J., Ankney, J. and Lee, K.T. (2012) *Anatomy and Physiology for Health Professionals: An Interactive Journey*, 2nd edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Haneke, E. (2006) Surgical anatomy of the nail apparatus. *Dermatology Clinic* **24**(3): 291–296.
- Jenkins, G.W., Kemnitz, C.P. and Tortora, G.J. (2013) *Anatomy and Physiology: From Science to Life*, 3rd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Lapin, M. (2014) The nursing process. In Peate, I., Wild, K. and Nair, M. (eds), *Nursing Practice, Knowledge and Care*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd; chapter 6, pp. 111–129.
- Lawton, S. (2006) Anatomy and function of the skin. Part 4 – appendages. *Nursing Times* **102**(34): 26–27.
- LeMone, P. and Burke, K. (2011) *Medical–Surgical Nursing. Critical Thinking in Client Care*, 5th edn. Upper Saddle River, NJ: Pearson.
- Lewis, K. and Roberts, R. (2009) Skin integrity. In Mallik, M., Hall, C. and Howard, D. (eds), *Nursing Knowledge and Practice. Foundations for Decision Making*, 3rd edn. Edinburgh: Baillière Tindall; pp. 337–362.
- Nair, M. (2014) The principles of medicine administration and pharmacology. In Peate, I., Wild, K. and Nair, M. (eds), *Nursing Practice, Knowledge and Care*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd; chapter 1, pp. 383–408.
- Nair, M. and Peate, I. (2009) *Fundamentals of Applied Pathophysiology: An Essential Guide for Nursing Students*. Oxford: John Wiley & Sons, Ltd.
- Page, B.E. (2006) Skin disorders. In Alexander, M.F., Fawcett, J.N. and Runciman, P.J. (eds), *Nursing Practice, Hospital and Home: The Adult*, 3rd edn. Edinburgh: Churchill Livingstone; pp. 525–552.
- Rizzo D.C. (2006) *Delmar’s Fundamentals of Anatomy and Physiology*, 2nd edn. New York: Thomson.
- Shier, D., Butler, J. and Lewis, R. (2013) *Hole’s Anatomy and Physiology*, 13th edn. Boston, MA: McGraw-Hill.
- Timby, B.K. (2012) *Fundamental Nursing Skills and Concepts*, 10th edn. Philadelphia, PA: Lippincott.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B.H. (2009) *Principles of Anatomy and Physiology*, 12th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- Tortora, G.J. and Derrickson, B. (2012) *Principles of Anatomy and Physiology*, 13th edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.

Lecturas adicionales

British Skin Foundation

<http://www.britishskinfoundation.org.uk/SkinInformation/AtoZofSkindisease/Eczema>

Esta organización tiene varios objetivos. Financia investigaciones para comprender mejor los diferentes tipos de enfermedades de la piel, recauda fondos, hace campañas en favor de cambios institucionales y conductuales para el beneficio de quienes padecen trastornos cutáneos. Concientiza a la comunidad y trabaja con ella para alentar a las personas a compartir su experiencia, a fin de que no sufran en silencio.

Psoriasis Association

<https://www.psoriasis-association.org.uk>

La Psoriasis Association trabaja para ayudar a personas cuya vida está afectada por psoriasis y artritis psoriásica. Lo hace mediante investigaciones, suministro de información y concientización.

Cancer Research UK

<http://www.cancerresearchuk.org>

Cancer Research UK proporciona información sobre el cáncer, incluidas estadísticas. Trabaja para combatir el cáncer y desarrollar estrategias.

Actividades

Preguntas de opción múltiple

1. ¿Con qué frecuencia (aproximadamente) se reemplazan las células epidérmicas? Cada:
 - (a) 30 días.
 - (b) 42 días.
 - (c) 15 días.
 - (d) 28 días.
2. La piel es más gruesa en:
 - (a) Labios.
 - (b) Lóbulos de las orejas.
 - (c) Manos.
 - (d) Nariz.
3. ¿Cuál es el pigmento que da a la piel sus diferentes tonos?
 - (a) Melena.
 - (b) Melatonina.
 - (c) Melonita.
 - (d) Melanina.
4. Los folículos pilosos consisten en:
 - (a) Sebo.
 - (b) Sudor.
 - (c) Queratina.
 - (d) Músculo.
5. La capa más externa de la piel es la:
 - (a) Dermis.
 - (b) Epidermis.
 - (c) Muscular.
 - (d) Subcutánea.
6. La piel hace todo lo siguiente, excepto:
 - (a) Absorber azúcar.
 - (b) Proteger el cuerpo.
 - (c) Contribuir al sentido del tacto.
 - (d) Ayudar a la termorregulación.
7. Término usado cuando la piel carece de melanina:
 - (a) Envejecimiento.
 - (b) Agotamiento.
 - (c) Eccema.
 - (d) Albinismo.
8. ¿En qué estrato de la piel se encuentran las células que se dividen para formar nuevas células?
 - (a) Médula.
 - (b) Folículo.
 - (c) Capas basales de la epidermis.
 - (d) Glándulas sebáceas.

9. ¿Qué ocurre finalmente con las células de la epidermis?
- (a) Son reabsorbidas.
 - (b) Se hacen cicatrizales.
 - (c) Se infectan.
 - (d) Mueren y se descaman.
10. Las estructuras de la dermis que producen aceite se denominan:
- (a) Glándulas sebáceas.
 - (b) Células de Merkel.
 - (c) Corpúsculos de Meissner.
 - (d) Gránulos laminares.

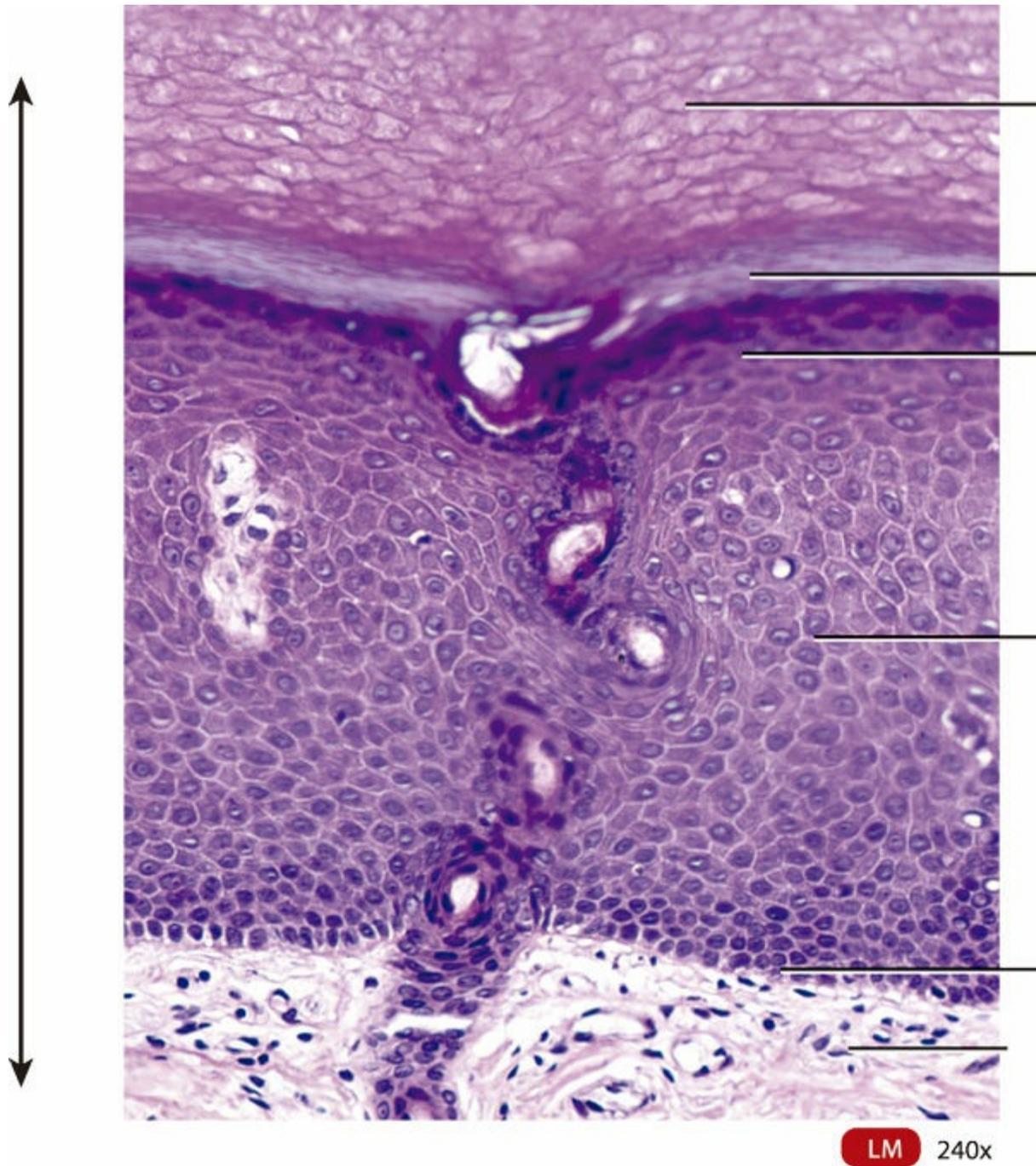
Verdadero o falso

1. La piel es el órgano más grande del cuerpo.
2. La recuperación total tras la perforación de la piel tarda entre 2 y 4 meses.
3. Las terminaciones nerviosas indican al cuerpo cuando los objetos están demasiado calientes.
4. Los vasos sanguíneos llevan el sudor a la piel.
5. El aceite natural de la piel se llama suero.
6. La “piel de gallina” se debe al reflejo pilomotor.
7. La parte más gruesa de la piel se encuentra en los talones.
8. La hipodermis también se conoce como epidermis.
9. El término inervación se relaciona con el riego sanguíneo.
10. Las células de Merkel son las menos numerosas de las células epidérmicas.

Rotule el diagrama 1

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

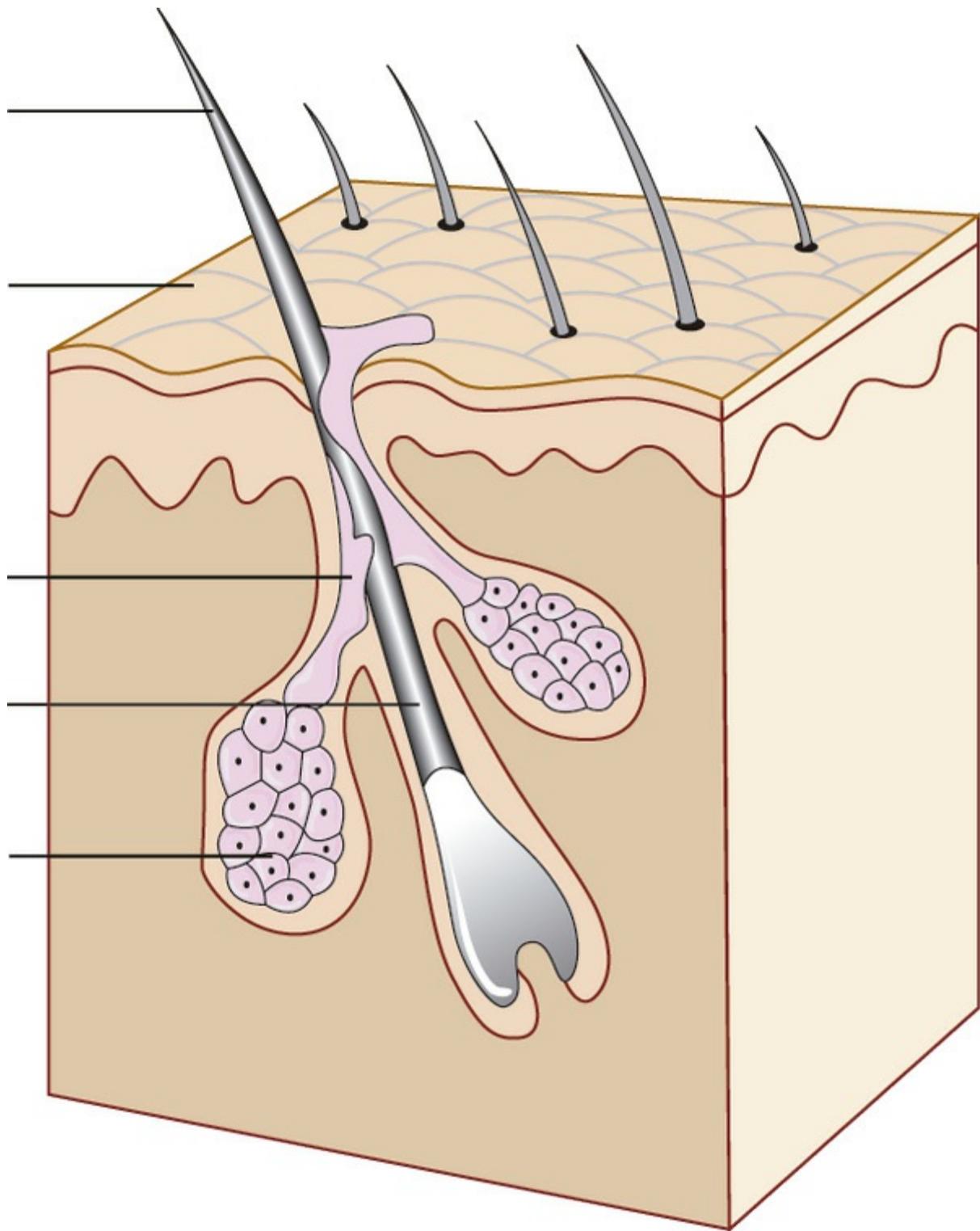
Superficial, Profunda, Epidermis, Estrato córneo, Estrato lúcido, Estrato granuloso, Estrato espinoso, Estrato basal, Dermis



Rotule el diagrama 2

Rotule el diagrama usando la siguiente lista de palabras:

Pelo, Superficie de la piel, Sebo, Folículo, Glándula sebácea



Búsqueda de palabras

En la rejilla siguiente hay 22 palabras que el lector habrá visto en este capítulo.
¿Puede encontrarlas todas?

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| S | A | S | O | I | V | R | E | N | C | A | P | A |
| U | N | O | T | I | R | U | R | P | E | R | R | C |
| B | I | A | S | P | I | E | L | S | L | R | W | O |
| C | N | N | R | I | A | H | Q | I | U | O | V | N |
| U | A | D | A | A | M | K | C | M | L | L | P | D |
| T | L | B | N | L | A | R | T | R | A | O | S | U |
| A | E | A | O | U | L | F | E | E | I | O | A | C |
| N | M | S | M | C | U | P | A | D | N | W | N | T |
| E | L | A | R | I | N | H | C | T | I | U | G | O |
| O | E | L | O | T | U | D | O | L | E | P | R | H |
| U | M | B | H | U | L | A | S | A | R | G | E | T |
| S | U | O | E | C | A | B | E | S | O | L | I | P |

Subcutáneo, Melanina, Pilosebáceo, Basal, Hormona, Nervios, Cutícula, Lúnula, Prurito, Conducto, Capa, Epidermis, Piel, Pelo, Dermis, Célula, Olor, Sangre, Grasa

Llene los espacios

La piel tiene _____. La capa externa es la _____ y la interna es la _____. La capa dérmica contiene _____ pilosos, _____ sebáceas, pequeños vasos sanguíneos llamados _____ y un pigmento denominado _____ que ayuda a proteger contra los rayos _____. La piel tiene varias funciones, y una de ellas se relaciona con el control del calor; esto recibe el nombre de _____. La piel también protege contra la invasión del cuerpo por _____. La piel es el órgano _____ del cuerpo. Cuando la temperatura de una persona aumenta, los vasos sanguíneos en la _____ de la piel se _____. La liberación de _____ ayuda a la persona a _____.

La epidermis se encuentra en el _____ de la piel y consiste en _____ de _____ con una superficie basal. Esta capa experimenta la _____. Las células recién divididas gradualmente _____; esto puede tardar alrededor de _____. Cuando las células gradualmente _____ se _____, y la _____, la capa más externa de _____, es erosionada _____ por la _____. La _____ y el _____ de las _____ sebáceas ayudan a hacer la piel _____.

1 o 2 meses, capilares, división celular, células, enfriarse, dermis, mueren, dilatan, epidermis, folículos, glándulas, más grande, capas, melanina,

microorganismos, se desplazan hacia la superficie, exterior, superficie, sudor, termorregulación, dos capas, ultravioleta, aplanan, queratina, células muertas aplanadas, continuamente, fricción, queratina, aceite, glándulas, impermeable

Para profundizar

1. ¿Cómo se llaman los receptores del tacto?
2. ¿Dónde comienza el crecimiento de las uñas?
3. Describa los cambios anatómicos y fisiológicos que ocurren cuando una persona experimenta la “piel de gallina”.
4. Nombre tres complicaciones potenciales de la perforación corporal (“piercing”).
5. ¿Qué procedimientos pueden usarse para retirar tatuajes?
6. ¿Qué se requiere para activar la vitamina D, y por qué?
7. ¿Cuál es la función de los músculos erectores del pelo?
8. Describa lo que ocurre a la piel con la vasodilatación.
9. Delinee los procesos implicados en la autorreparación de la piel después de ser dañada.
10. ¿Cómo trabajan juntos la piel y el aparato urinario para mantener la homeostasis?

Afecciones

La siguiente es una lista de trastornos relacionados con la piel. Tómese un tiempo para escribir notas acerca de cada uno de ellos. Puede tomar sus notas de libros de texto u otros recursos (p. ej. personas con las que trabaje en clínica), o elaborarlas con base en sus observaciones de personas a las que haya atendido. En este último caso, debe asegurarse de cumplir las normas de confidencialidad.

Alergia

Cáncer de piel:

- Melanoma maligno
- Carcinoma basocelular (CBC)
- Carcinoma de células pavimentosas (CCP)

Eccema

Psoriasis

Quemaduras:

- Primer grado
- Segundo grado
- Espesor total

Úlceras por presión



Valores normales

Hematología

Biometría hemática completa

CMHC 32 a 35 g dL⁻¹

HCM 28 a 32 pg

Hematocrito (mujeres) 0.36 a 0.47

Hematocrito (varones) 0.40 a 0.52

Hemoglobina (mujeres) 11.5 a 16.5 g dL⁻¹

Hemoglobina (varones) 13.0 a 18.0 g dL⁻¹

Recuento de leucocitos (4 a 11) × 10⁹ L⁻¹

VCM 80 a 96 fL

Diferencial leucocítico

Basófilos 0 a 0.1 × 10⁹ L⁻¹

Eosinófilos 0.04 a 0.4 × 10⁹ L⁻¹

Linfocitos 1.5 a 4 × 10⁹ L⁻¹

Monocitos 0 a 0.8 × 10⁹ L⁻¹

Neutrófilos 1.5 a 7 × 10⁹ L⁻¹

Recuento de reticulocitos (25 a 85) × 10⁹ L⁻¹ o 0.5 a 2.4%

Recuento plaquetario 150 a 400 × 10⁹ L⁻¹

Tasa de sedimentación eritrocítica

Westergren

Menores de 50 años:

Varones 0 a 15 mm/1a. hora

Mujeres 0 a 20 mm/1a. hora

Mayores de 50 años:

Varones 0 a 20 mm/1a. hora

Mujeres 0 a 30 mm/1a. hora

Viscosidad plasmática 1.50 a 1.72 mPa s⁻¹ (a 25°C)

Prueba de coagulación

Fibrinógeno 1.8 a 5.4 g L⁻¹

Índice normalizado internacional <1.4

Tiempo de protrombina 11.5 a 15.5 s

Tiempo de sangrado 3 a 8 min

Tiempo parcial de tromboplastina activada 30 a 40 s

Factores de la coagulación

Antígeno antifactor de Von Willebrand 50 a 150 UI dL⁻¹

Antitrombina III 80 a 120 UI dL⁻¹

Factor de Von Willebrand 45 a 150 UI dL⁻¹
Factor V Leiden Presente o no
Factores II, V, VII, VIII, IX, X, XI, XII 50 a 150 UI dL⁻¹
Productos de la degradación de fibrina <100 mg L⁻¹
Proteína C 80 a 135 UI dL⁻¹
Proteína S 80 a 120 UI dL⁻¹
Prueba de dímero D <0.5 mg L⁻¹
Resistencia a proteína C activada 2.12 a 4.0

Hematínicos

Capacidad de fijación de hierro sérico 45 a 75 [[μ]]mol L⁻¹
Ferritina sérica 15 a 300 μg L⁻¹
Folato eritrocítico 160 a 640 μg L⁻¹
Folato sérico 2.0 a 11.0 μg L⁻¹
Haptoglobina sérica 0.13 a 1.63 g L⁻¹
Hierro sérico 12 a 30 μmol L⁻¹
Transferrina sérica 2.0 a 4.0 g L⁻¹
Vitamina B₁₂ sérica 160 a 760 ng L⁻¹

Electroforesis de hemoglobina

Hemoglobina A >95%
Hemoglobina A₂ 2 a 3%
Hemoglobina F <2%

Química sanguínea

γ-Glutamiltransferasa sérica 4 a 35 U L⁻¹ (<50 U L⁻¹ en varones)
Alanina aminotransferasa sérica 5 a 35 U L⁻¹
Albumina sérica 37 a 49 g L⁻¹
Aluminio sérico 0 a 10 μg L⁻¹
Amilasa sérica 60 a 180 U L⁻¹
Amoníaco plasmático 12 a 55 μmol L⁻¹
Aspartato aminotransferasa sérica 1 a 31 U L⁻¹
Bicarbonato sérico 20 a 28 mmol L⁻¹
Bilirrubina conjugada sérica 0 a 3.4 μmol L⁻¹
Bilirrubina sérica total 1 a 22 μmol L⁻¹
Brecha aniónica 12 a 16 mmol L⁻¹
Calcio sérico corregido 2.2 a 2.6 mmol L⁻¹
Ceruloplasmina sérica 200 a 350 mg L⁻¹
Cloruro sérico 95 a 107 mmol L⁻¹
Cobre sérico 12 a 26 μmol L⁻¹
Creatina cinasa sérica (mujeres) 24 a 170 U L⁻¹
Creatina cinasa sérica (varones) 24 a 195 U L⁻¹
Creatina cinasa, fracción MB <5%
Creatinina sérica 60 a 110 μmol L⁻¹
Deshidrogenasa láctica sérica 10 a 250 U L⁻¹

Enzima convertidora de angiotensina sérica 25 a 82 U L⁻¹
Fosfatasa alcalina sérica 45 a 105 U L⁻¹ (mayores de 14 años)
Fosfato sérico 0.8 a 1.4 mmol L⁻¹
Fructosamina <285 μmo L⁻¹
Glucosa plasmática en ayunas 3.0 a 6.0 mmol L⁻¹
Hemoglobina A₁ C 3.8 a 6.4%
Lactato plasmático 0.6 a 1.8 mmol L⁻¹
Magnesio sérico 0.75 a 1.05 mmol L⁻¹
Osmolalidad plasmática 278 a 305 mosmol kg⁻¹
Potasio sérico 3.5 a 4.9 mmol L⁻¹
Proteína sérica total 61 a 76 g L⁻¹
Sodio sérico 137 a 144 mmol L⁻¹
Troponina sérica I 0 a 0.4 μg L⁻¹
Troponina T sérica T 0 a 0.1 μg L⁻¹
Urato sérico (mujeres) 0.19 a 0.36 mmol L⁻¹
Urato sérico (varones) 0.23 a 0.46 mmol L⁻¹
Urea sérica 2.5 a 7.5 mmol L⁻¹
Zinc sérico 6 a 25 μmol L⁻¹

Orina

Cociente albúmina/creatinina (muestra sin especificar tiempo) <3.5 mg mmol⁻¹
(varones), <2.5 mg mmol⁻¹ (mujeres)

Lípidos y lipoproteínas

Los valores objetivo variarán con la valoración de riesgo cardiovascular global del paciente

Colesterol HDL sérico >1.55 mmol L⁻¹
Colesterol LDL sérico <3.36 mmol L⁻¹
Colesterol sérico <5.2 mmol L⁻¹
Triglicéridos séricos en ayunas 0.45 a 1.69 mmol L⁻¹

Gases sanguíneos (mientras se respira aire al nivel del mar)

Exceso de base ±2 mmol L⁻¹
H⁺ sanguíneo 35 a 45 nmol L⁻¹
PaCO₂ 4.7 a 6.0 kPa
PaO₂ 11.3 a 12.6 kPa
pH 7.36 a 7.44

Carboxihemoglobina

Fumador 3 a 15%
No fumador <2%

Inmunología/reumatología

Complemento C3 65 a 190 mg dL⁻¹
Complemento C4 15 a 50 mg dL⁻¹

Complemento hemolítico total (CH50) 150 a 250 U L⁻¹
Proteína C reactiva sérica <10 mg L⁻¹

Inmunoglobulinas séricas

β₂-Microglobulina sérica <3 mg L⁻¹
IgA 0.8 a 3.0 g L⁻¹
IgE <120 kU L⁻¹
IgG 6.0 a 13.0 g L⁻¹
IgM 0.4 a 2.5 g L⁻¹

Líquido cefalorraquídeo

Albúmina 0.066 a 0.442 g L⁻¹
Cloruro 116 a 122 mmol L⁻¹
Glucosa 3.3 a 4.4 mmol L⁻¹
Lactato 1 a 2 mmol L⁻¹
Presión de apertura 50 a 180 mm H₂O
Proteína total 0.15 a 0.45 g L⁻¹
Recuento celular ≤5 mL⁻¹

Diferencial

IgG/ALB ≤0.26
Índice de IgG ≤0.88
Linfocitos 60 a 70%
Monocitos 30 a 50%
Neutrófilos Ninguno

Orina

δ-Aminolevulinato 8 a 53 μmol/24 h
Ácido 5-hidroxiindolacético 10 a 47 μmol/24 h
Albúmina <30 mg/24 h
Calcio 2.5 a 7.5 mmol/24 h
Coproporfirina <300 nmol/24 h
Osmolalidad 350 a 1000 mosmol kg⁻¹
Proteína total <0.2 g/24 h
Tasa de filtración glomerular 70 a 140 mL min⁻¹
Urobilinógeno 1.7 a 5.9 μmol/24 h
Uroporfirina 6 a 24 nmol/24 h

Heces

Grasa (con alimentación normal) <7 g/24 h
Nitrógeno 70 a 140 mmol/24 h
Urobilinógeno 50 a 500 μmol/24 h



Respuestas

Capítulo 1

Preguntas de opción múltiple

1. (c); 2. (b); 3. (d); 4. (b); 5. (a); 6. (a); 7. (c); 8. (d); 9. (d); 10. (b)

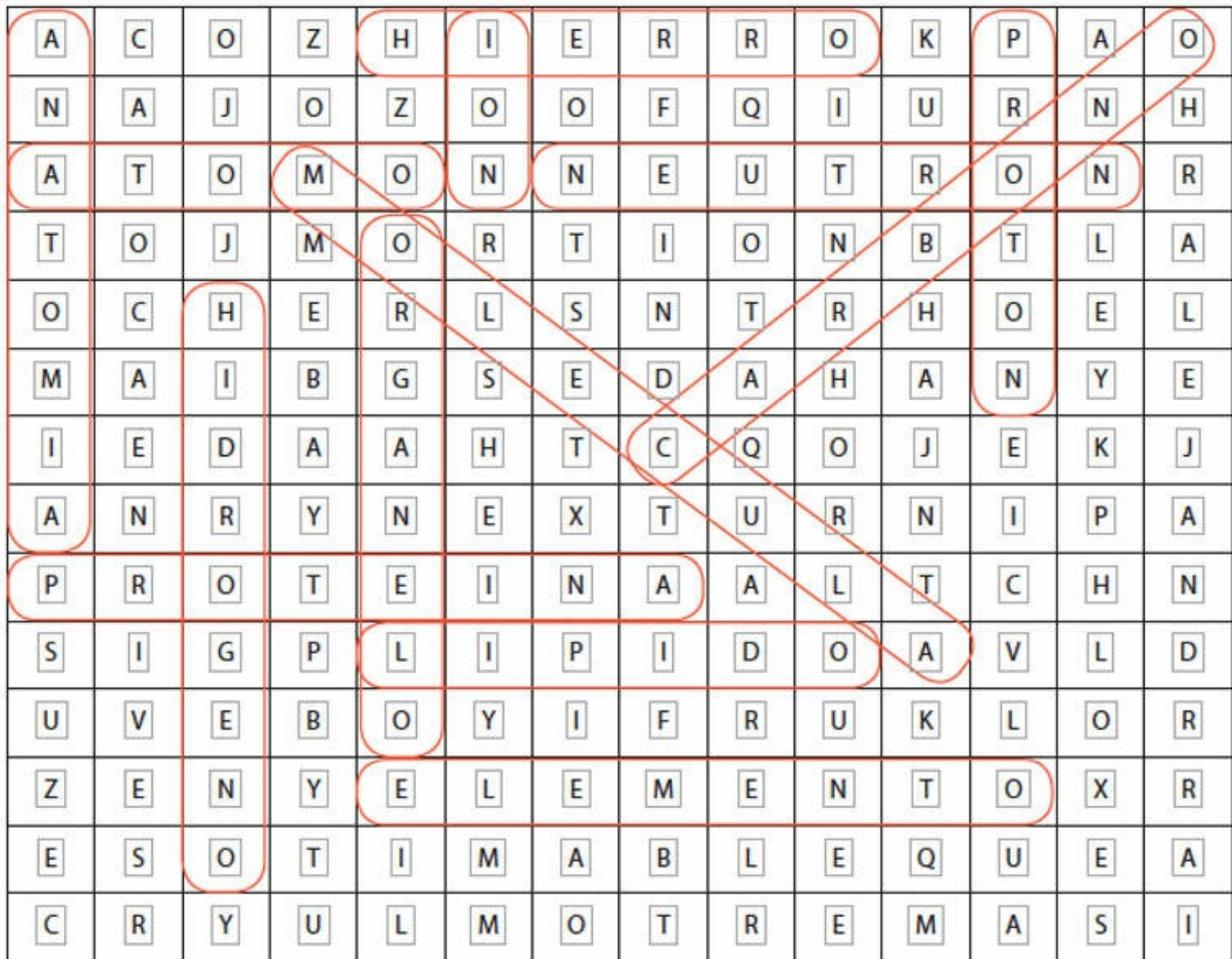
Falso o verdadero

1. Falso: un ion es un átomo con carga eléctrica positiva o negativa.
2. Verdadero.
3. Verdadero.
4. Verdadero.
5. Falso: es una propiedad química.
6. Falso: es un compuesto de sodio y cloro.
7. Falso: después de una reacción química queda el mismo número de átomos, pero en diferentes combinaciones.
8. Verdadero.
9. Falso: los lípidos son sustancias orgánicas.
10. Verdadero.

Llene los espacios 1

La homeostasis consiste en los intentos del organismo para mantener un ambiente interno **estable**. Para hacerlo, debe ser capaz de cambiar en respuesta tanto a cambios **externos** (p. ej. temperatura ambiental) como a **estímulos** internos (p. ej. cambios en la presión arterial). El cuerpo utiliza diversos **mecanismos** para mantener la homeostasis, incluidos **receptores** para detectar cambios **ambientales** externos e internos. Los receptores envían entonces mensajes al centro de control **homeostático**, que determina el valor específico – por ejemplo, la temperatura o **presión** arterial correctas necesarias para el funcionamiento básico del organismo—. Dicho centro envía entonces un **mensaje** a los **efectores** del cuerpo, lo que, a su vez, hace que el ambiente **interno** contrarreste los efectos de los diversos estímulos o cambios.

Búsqueda de palabras 1



Llene los espacios 2

Un **ion** es un átomo o **molécula** en los cuales el número total de **electrones** no es **igual** a el número total de protones. Por lo tanto el **átomo** o molécula tienen carga **eléctrica** neta positiva o negativa.

Búsqueda de palabras 2

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | O | L | A | R | E | S | N | D | S | U | O | K | W |
| H | F | R | E | M | O | Z | I | A | X | Y | N | X | I |
| S | A | I | G | O | N | I | L | A | C | L | A | V | S |
| T | M | A | S | A | T | O | M | O | E | R | G | H | A |
| C | H | R | M | I | G | M | E | R | C | U | R | I | O |
| A | O | V | O | U | O | H | Z | W | R | D | O | D | N |
| L | O | V | T | X | E | L | E | I | P | U | S | R | U |
| C | S | I | A | O | R | S | O | D | I | O | M | O | E |
| I | N | F | V | L | T | I | O | G | L | X | A | G | V |
| O | Q | A | Y | Z | E | I | N | L | I | A | Z | E | O |
| M | E | T | A | L | X | N | Z | A | S | A | O | N | I |
| P | W | G | R | A | S | A | T | I | O | N | G | O | A |
| Q | U | E | R | T | Y | U | I | E | P | L | K | J | S |
| A | L | U | R | T | E | M | I | W | R | S | T | U | V |

Capítulo 2

Preguntas de opción múltiple

1. (b); 2. (d); 3. (b); 4. (d); 5. (a); 6. (c); 7. (b); 8. (a); 9. (a); 10. (a).

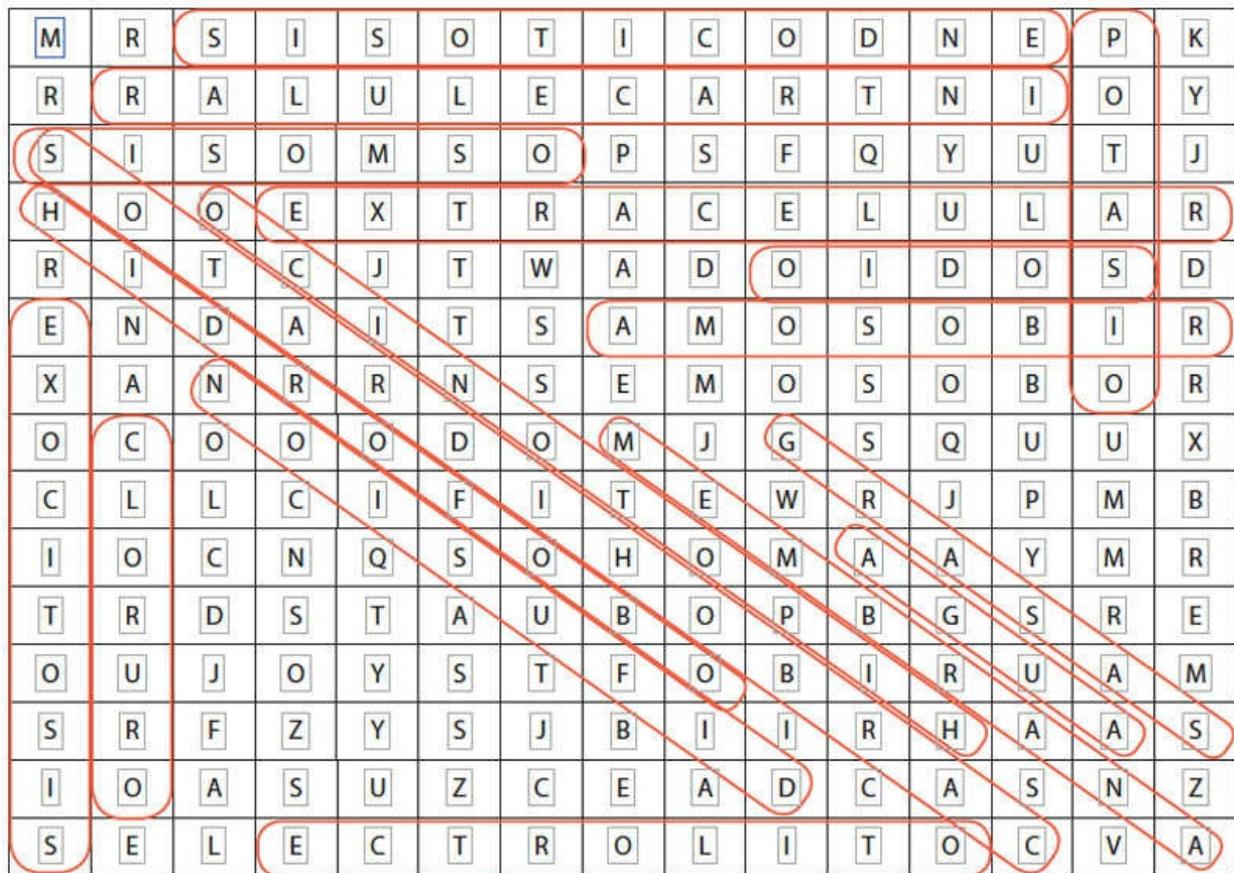
Falso o verdadero

1. Falso.
2. Falso.
3. Verdadero.
4. Verdadero.
5. Verdadero
6. Falso.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Falso.
10. Falso.

Encierre en un círculo el término

1. Centríolos.
2. Mitocondrias.
3. Lisosomas.
4. RE liso.
5. Cilios.

Búsqueda de palabras



Símbolos químicos

| | |
|--|-------------------------------|
| Potasio | K ⁺ |
| Sodio | Na ⁺ |
| Bicarbonato | HCO ₃ ⁻ |
| Cloruro | Cl ⁻ |
| Fosfato orgánico PO ₄ ³⁻ | |
| Sulfato | SO ₄ ²⁻ |
| Calcio | Ca ²⁺ |

Llene los espacios 1

El plasma es el único compartimiento **hídrico mayor** que existe como un depósito real de líquido en una misma ubicación. Difiere del **líquido intersticial (LIS)** en su contenido mucho **mayor de proteína** y su elevado **flujo** (función de transporte). La sangre contiene **glóbulos rojos y blancos** suspendidos, de modo que el **plasma** se ha llamado el LIS de la sangre. El compartimiento hídrico conocido como **volumen sanguíneo** es interesante porque es un compartimiento compuesto que contiene **LEC** (plasma) y **LIC** (líquido de los glóbulos rojos).

Llene los espacios 2

Los **electrólitos** son decisivos para la **salud** y la **supervivencia**. Son partículas con carga **positiva** y **negativa** (iones) que se forman cuando sales minerales o de otros tipos se disuelven y separan (disocian) en agua. Dado que los electrólitos tienen **carga**, pueden conducir la **corriente eléctrica** en agua, que por sí sola en su forma pura es un **conductor deficiente** de la electricidad. Esta característica de los electrólitos es importante, porque la corriente permite a los electrólitos **regular** cómo y dónde se distribuyen los líquidos en todo el **cuerpo**, lo que incluye impedir que el agua cruce libremente las **membranas celulares**.

Capítulo 3

Preguntas de opción múltiple

1. (a); 2. (c); 3. (b); 4. (b); 5. (d); 6. (b); 7. (d); 8. (c); 9. (b); 10. (c).

Falso o verdadero

1. Falso: es el DNA el que se encuentra dentro de los cromosomas.
2. Verdadero.
3. Verdadero.
4. Falso: dos cromátides son unidas por un centrómero, y no al revés.
5. Verdadero.
6. Falso: la síntesis de aminoácidos/proteína es suspendida por un codón de terminación.
7. Falso: la enfermedad de Huntington es un ejemplo de herencia autosómica dominante.
8. Falso: por lo **general**, los trastornos autosómicos recesivos son más graves que los autosómicos dominantes (aunque existen excepciones).
9. Verdadero.
10. Falso: **estadísticamente** habría una probabilidad de 50% de tener un hijo afectado.

Llene los espacios

Durante la síntesis de proteínas todas las instrucciones **genéticas** para producir proteínas se encuentran en el **DNA**. La primera etapa de la producción de proteínas implica la **transcripción** de esta información en **RNA**, el cual a su vez se **traduce** a una secuencia correspondiente de **aminoácidos** que se unen entre sí para formar moléculas de **proteína**.

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| D | Y | N | A | S | T | P | O | B | J | E | C | T |
| T | N | U | X | V | Z | R | U | Q | M | N | P | E |
| L | R | A | M | I | N | O | A | C | I | D | O | L |
| P | R | A | E | D | I | T | R | O | T | O | R | O |
| N | T | Z | N | C | O | E | T | G | O | S | T | F |
| P | L | Y | D | S | N | I | E | V | S | C | A | A |
| T | W | Y | E | Y | L | N | R | G | I | O | D | S |
| A | C | E | L | U | L | A | R | S | S | P | O | E |
| N | H | Y | C | O | D | A | T | E | A | E | R | I |
| P | G | R | E | C | E | S | I | V | O | E | R | N |
| L | N | V | N | T | S | A | M | I | R | G | A | L |
| A | Q | U | A | R | E | S | A | F | A | N | A | T |
| N | O | I | C | C | U | D | A | R | T | W | C | Y |

Capítulo 4

Preguntas de opción múltiple

1. (c); 2. (a); 3. (b); 4. (a); 5. (b); 6. (c); 7. (a); 8. (c); 9. (b); 10. (a).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Falso.
3. Falso.
4. Verdadero.
5. Verdadero
6. Verdadero.
7. Falso.
8. Falso.
9. Verdadero.
10. Verdadero.

Crucigrama

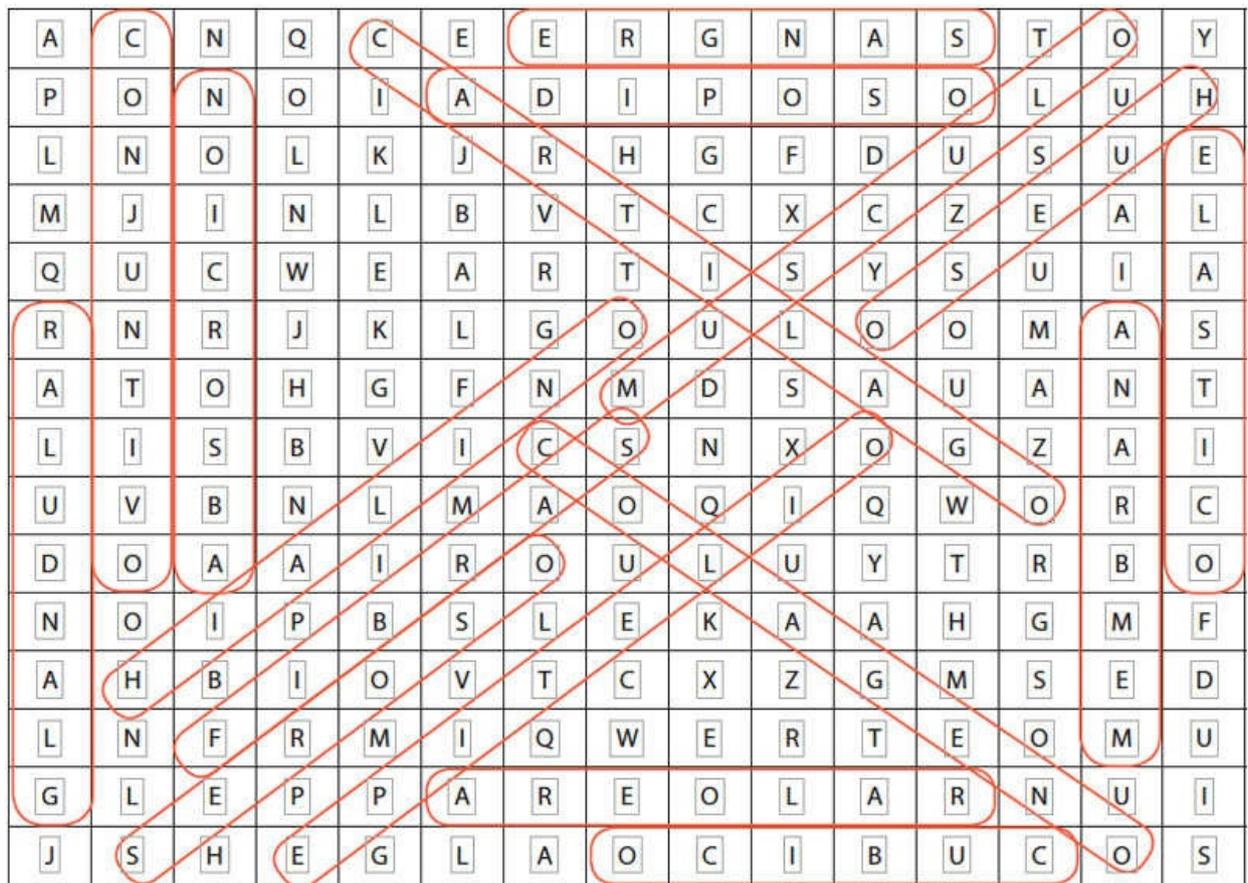
Horizontales

1. Cúbico simple
3. Reticular
5. Osteoblastos
8. Sustancia basal
11. Elástico
13. Hialino
14. Denso
15. Colágeno

Verticales

1. Esquelético
2. Seudoestratificado
4. Adiposo
6. Estratificado
7. Mucosas
9. Serosas
10. Cartílago
12. Laxo

Búsqueda de palabras



Llene los espacios

El tejido muscular contiene fibras musculares **largas** cuya función principal es generar **fuerza**. Se encuentra en sitios en que se requieren **movimiento y mantenimiento de la postura**. El músculo **esquelético** se encuentra adyacente al esqueleto y se le llama **estriado** por su aspecto, y **voluntario** por su acción. El músculo **liso**, por otra parte, es **involuntario** y **no estriado**. Como su nombre lo indica, el músculo **cardíaco** sólo se encuentra en el corazón y aporta la fuerza impulsora para la **contracción**.

Capítulo 5

Preguntas de opción múltiple

1. (b); 2. (c); 3. (c); 4. (d); 5. (a); 6. (d); 7. (a); 8. (d); 9. (c); 10. (b).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Falso.
3. Verdadero.
4. Falso.
5. Falso.
6. Falso.
7. Falso.
8. Falso.
9. Verdadero.
10. Falso.

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| O | P | C | O | T | S | A | L | B | O | E | T | S | O | E | J |
| T | C | O | S | T | I | L | L | A | V | R | F | I | T | S | I |
| E | U | T | D | I | O | M | H | T | E | O | P | R | I | T | A |
| L | B | A | K | L | U | C | O | H | U | E | S | O | O | E | R |
| E | I | L | I | N | S | Y | S | R | S | C | T | T | D | R | U |
| U | T | F | S | E | D | I | O | M | T | E | O | U | S | N | T |
| Q | O | E | P | I | F | I | S | A | R | I | O | L | N | O | U |
| S | T | I | B | I | A | B | M | L | O | M | A | A | E | N | S |
| E | O | S | T | E | O | C | L | A | S | T | O | D | I | A | O |

Llene los espacios

El **húmero** es el hueso **más grande** y **más largo** del **antebrazo**. La cabeza del húmero es **redondeada** y se **articula** con el resto del hueso mediante el **cuello** anatómico. El aspecto superior del hueso tiene dos prominencias, el **tubérculo mayor** y el **menor**. El **cúbito** es **más largo** que el radio. Los huesos de la muñeca se denominan **carpianos**; están dispuestos en **dos** filas de cuatro huesos cada una. Las palmas de las manos están formadas por los **cinco** huesos **metatarsianos**. Éstos son huesos **largos** pequeños; cada uno tiene una **diáfisis** y una **cabeza**. El pulgar tiene sólo una falange **proximal** y una **distal**.

Relacione el hueso con su forma

1. B, D, G

2. F

3. A, H, C, E

Capítulo 6

Preguntas de opción múltiple

1. (a); 2. (d); 3. (c); 4. (b); 5. (a); 6. (b); 7. (d); 8. (b); 9. (d); 10. (c).

Falso o verdadero

1. Falso.
2. Falso.
3. Falso.
4. Verdadero.
5. Verdadero.
6. Verdadero.
7. Falso.
8. Verdadero.
9. Falso.
10. Verdadero.

Crucigrama

Horizontales

1. Filamentos gruesos y delgados
3. Túbulos transversos
4. Ácido pirúvico
5. Generar calor
6. Inserción
8. Abducción
9. Mioglobina
10. Decece

Verticales

2. Respiración aeróbica
7. Romboides

Capítulo 7

Preguntas de opción múltiple

1. (a); 2. (a); 3. (c); 4. (d); 5. (b); 6. (a); 7. (a); 8. (b); 9. (b); 10. (c).

Falso o verdadero

1. Falso.
2. Falso.
3. Verdadero.
4. Verdadero.
5. Verdadero.
6. Falso.
7. Falso.
8. Falso.
9. Verdadero.
10. Falso.

Tipos sanguíneos

| Tipo sanguíneo | Antígenos | Aglutininas | Puede donar a | Puede recibir de |
|----------------|--------------------------|----------------|---------------|------------------|
| Tipo A | Antígeno A | AntiB | A, AB | A, O |
| Tipo B | Antígeno B | AntiA | A, AB | B, O |
| Tipo AB | Antígeno A Antígeno B | Ninguno | AB | A, B, AB, O |
| Tipo O | Ninguno | AntiA AntiB | A, B, AB, O | O |

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | X | D | M | H | S | Q | S | S | L | O | H | T | K | E |
| N | G | C | I | A | O | D | A | E | I | S | E | P | M | Y |
| O | H | O | O | R | T | O | N | S | N | A | M | S | P | S |
| I | L | A | A | R | I | L | E | E | F | T | O | L | L | A |
| S | S | G | V | R | C | I | V | R | A | E | G | F | A | N |
| U | A | U | S | E | O | F | V | A | T | U | L | L | S | G |
| F | L | L | I | O | N | O | I | L | I | Q | O | E | M | R |
| F | U | A | S | T | O | S | S | I | C | A | B | U | A | E |
| I | V | C | O | I | M | A | C | P | O | L | I | C | Y | W |
| D | L | I | M | C | Q | B | O | A | L | P | N | O | N | O |
| D | A | O | S | O | U | B | S | C | B | S | A | C | R | Y |
| O | V | N | O | F | S | T | I | O | C | R | B | I | J | X |
| O | N | L | Y | N | E | F | D | D | R | A | M | T | C | U |
| L | H | C | H | I | V | F | A | V | D | Q | C | O | A | O |
| B | R | M | L | L | V | O | D | X | Z | S | F | S | R | F |

Llene los espacios

Sangre

En los adultos, la médula ósea más activa se encuentra en la **pelvis**, **huesos del hombro**, **vértabras**, costillas, esternón y cráneo. Las células **sanguíneas inmaduras** presentes en la médula ósea se llaman **células madre**. También puede haber células madre en menores cantidades en el **torrente sanguíneo**. Éstas reciben el nombre de **células madre sanguíneas periféricas**.

El proceso de desarrollo de las células sanguíneas se denomina hematopoyesis. En su fase más temprana, las **células madre** comienzan a desarrollarse en la línea de **células linfocíticas** o en la línea de células mielocíticas. En ambas líneas celulares las células madre se convierten en **blastos**, que son aún **células inmaduras**. Durante la última fase del desarrollo celular los blastos maduran como tres tipos de células sanguíneas, llamados **eritrocitos**, **plaquetas** y **leucocitos**.

Vasos sanguíneos

Las **arterias** llevan sangre desde el corazón hacia otros órganos. Su tamaño varía. Las **arterias más grandes** tienen **fibras elásticas** especiales en sus paredes. Esto ayuda a complementar el trabajo del corazón, al **impulsar sangre** cuando el músculo cardiaco se relaja. Además, las arterias reaccionan a señales del **sistema**

nervioso, ya sea constriñéndose o dilatándose.

Las arteriolas son las arterias más pequeñas del organismo. Entregan sangre a los capilares. Las arteriolas también son capaces de constreñirse o dilatarse y, al hacerlo, controlan la cantidad de sangre que entra en los capilares.

Los capilares son vasos muy delgados que conectan las arteriolas con las vénulas. Tienen paredes muy delgadas que permiten el paso de nutrientes de la sangre a los tejidos corporales. Los productos de desecho de los tejidos corporales también pueden pasar a los capilares. Por esta causa, los capilares se conocen como vasos de intercambio.

Sistema linfático

El sistema linfático es similar al aparato circulatorio: los vasos se ramifican por todas partes del cuerpo como las arterias y venas que llevan la sangre. Pero los vasos del sistema linfático son mucho más delgados y transportan un líquido incoloro llamado linfa. La linfa contiene gran cantidad de linfocitos. El plasma escapa de los capilares para rodear y bañar los tejidos corporales. Luego drena hacia los vasos linfáticos.

Capítulo 8

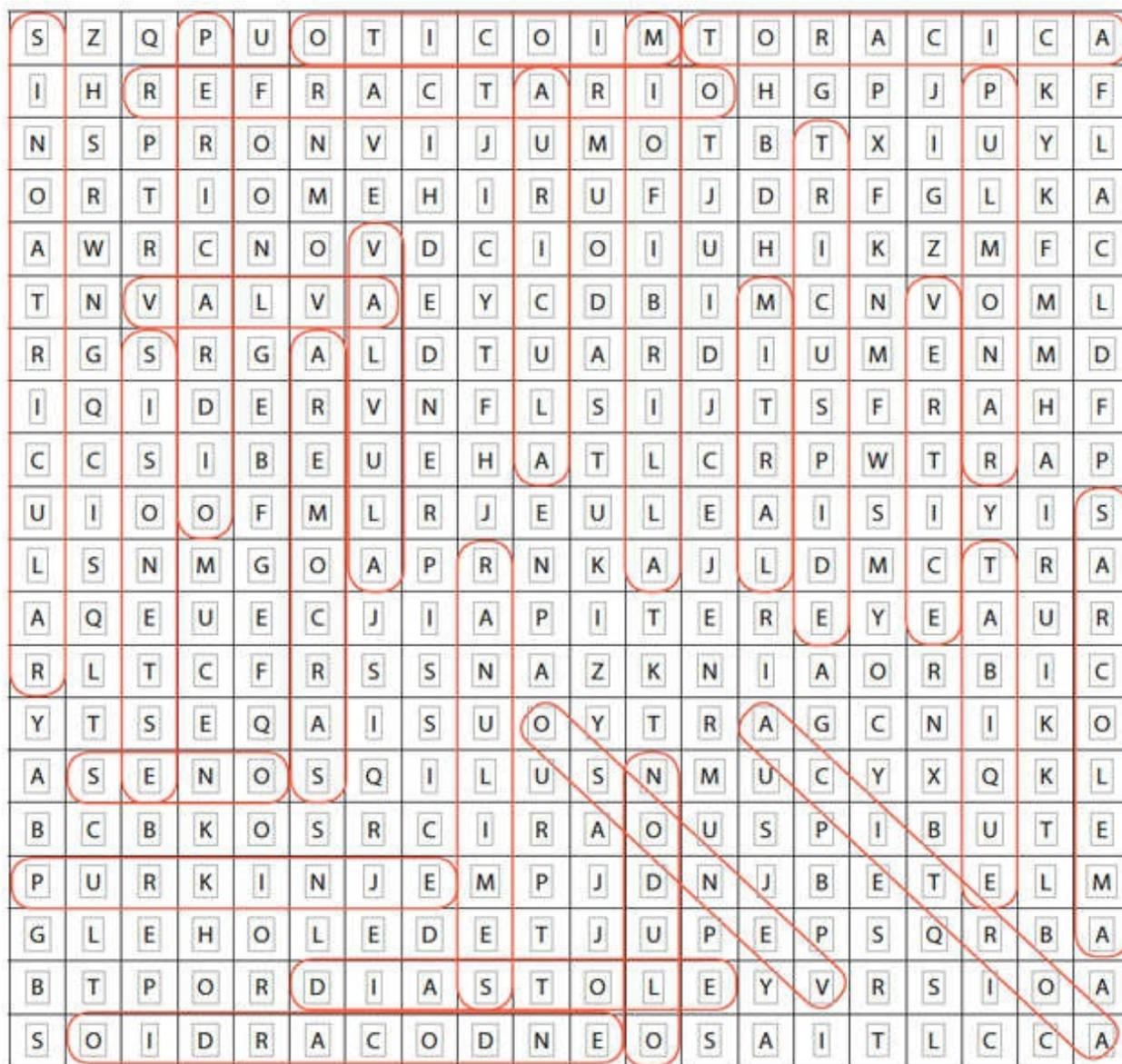
Preguntas de opción múltiple

1. (b); 2. (c); 3. (b); 4. (c); 5. (d); 6. (a); 7. (d); 8. (d); 9. (b); 10. (b).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Verdadero.
3. Verdadero.
4. Falso.
5. Falso.
6. Falso.
7. Verdadero.
8. Verdadero.
9. Verdadero.
10. Falso.

Búsqueda de palabras



Llene los espacios

La excitación/distribución eléctricas normales comienzan en el nódulo **sinoauricular**, que se localiza en la **aurícula** derecha, y se transmite con rapidez por las aurículas en vías rápidas. El impulso se transmite al nódulo **auriculoventricular** (AV), donde cualquier ulterior transmisión es demorada por aproximadamente 0.1 **segundo**. Esto asegura que las aurículas se hayan contraído por completo antes de que se inicie la **contracción** ventricular. Una vez que el impulso se ha “retenido” en el nódulo AV se transmite por el haz de His (haz AV) a las vías rápidas de las dos ramas **del haz**. Los haces se dividen entonces en ramas cada vez más pequeñas del sistema de **Purkinje**, que transmite los impulsos a los músculos de los **ventrículos**.

Capítulo 9

Preguntas de opción múltiple

1. (d); 2. (b); 3. (b); 4. (c); 5. (d); 6. (a); 7. (d); 8. (a); 9. (d); 10. (a).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Falso.
3. Falso.
4. Verdadero.
5. Verdadero.
6. Falso.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Falso.
10. Falso.

Crucigrama

Horizontales

1. Ácido ascórbico
5. Incisivo
9. Eliminación
10. Amilasa
14. Lípido
15. Mucosa
17. Vitamina
18. Ano
19. Faringe

Verticales

1. Aminoácidos
2. Quimo
3. Peristaltismo
4. Lisozima
5. Masticación
6. Parótida
7. Yeyuno
11. Ciego
12. Pepsina
13. Bilis
16. Gastrina

Llene los espacios

El aparato digestivo también se conoce como **tubo digestivo**. La acción de enzimas en el alimento ingerido se conoce como digestión **química**. El batido del alimento ingerido por la actividad muscular del aparato digestivo se denomina digestión **mecánica**. El aparato digestivo es protegido contra patógenos invasores por la presencia de **lisozima** en la amilasa salival y de **ácido clorhídrico** producido por las células **parietales** del estómago.

La digestión de **proteínas** comienza en el estómago. **Amilasa** es el nombre de la enzima implicada en la degradación de carbohidratos. La digestión de las grasas depende de la presencia de **bilis** y **lipasa**.

Capítulo 10

Preguntas de opción múltiple

1. (c); 2. (c); 3. (a); 4. (d); 5. (a); 6. (b); 7. (d); 8. (a); 9. (c); 10. (a).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Verdadero.
3. Falso.
4. Verdadero.
5. Falso.
6. Verdadero.
7. Falso.
8. Falso.
9. Falso.
10. Falso.

Crucigrama

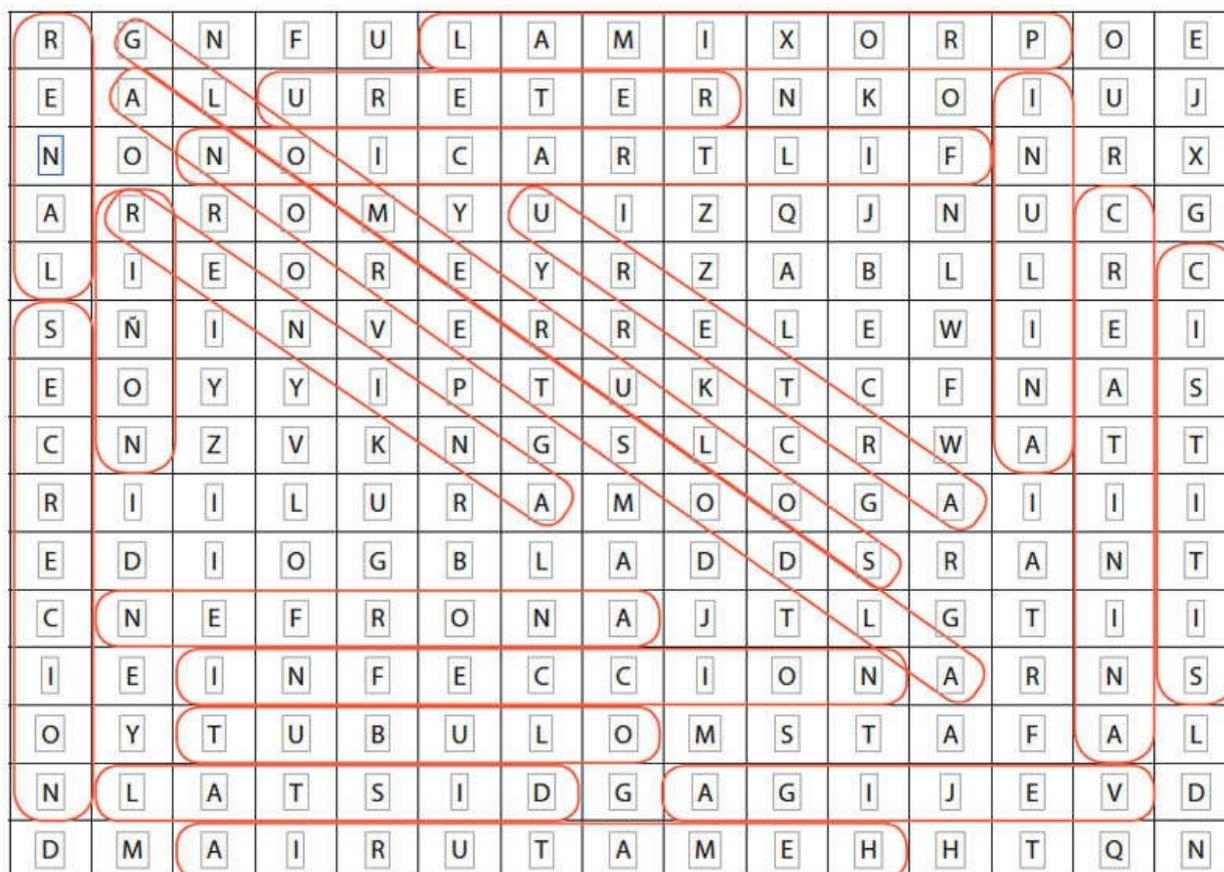
Horizontales

5. Aldosterona
6. Filtración
7. Uretra
11. Suprarrenal
12. ADH
13. Urea
14. Nefrona

Verticales

1. Oliguria
2. Renina
3. Cistitis
4. Cistoscopia
8. Uréter
9. Cápsula
10. Vejiga

Búsqueda de palabras



Llene los espacios

Los **riñones**, **uréteres**, **vejiga urinaria** y **uretra** constituyen el aparato urinario. Los riñones **filtran** la **sangre** para eliminar los desechos y **exceso de agua** del organismo y formar la **orina**. Ésta viaja a la **vejiga urinaria** por los **uréteres**. La vejiga urinaria **almacena** la orina hasta que es expulsada del cuerpo vía la uretra.

Dentro de los riñones hay alrededor de un **millón** de pequeñas unidades de filtración llamadas **glomérulos**. La sangre fluye por **tubos diminutos** y redes intrincadas de **vasos sanguíneos** dentro de los riñones hasta los glomérulos a fin de someterse al **proceso de filtración**.

La función de los **riñones** es, entre otras cosas, eliminar los **productos de desecho** que resultan del **metabolismo**. Uno de los principales **subproductos** del metabolismo de **proteína** (músculo) es la **urea**. Los riñones eliminan los productos de desecho al extraerlos de la sangre y enviarlos por el **uréter** a la **vejiga**, desde donde se les **excreta** en la **orina**. Si el funcionamiento renal **falla**, los productos de desecho se **acumulan** en la **sangre** y el cuerpo. El término para esta acumulación es **hiperazoemia**.

Capítulo 11

Preguntas de opción múltiple

1. (c); 2. (b); 3. (a); 4. (c); 5. (a); 6. (d); 7. (d); 8. (a); 9. (d); 10. (c).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Falso.
3. Verdadero.
4. Verdadero.
5. Verdadero.
6. Falso.
7. Falso.
8. Verdadero.
9. Falso.
10. Falso.

Crucigrama

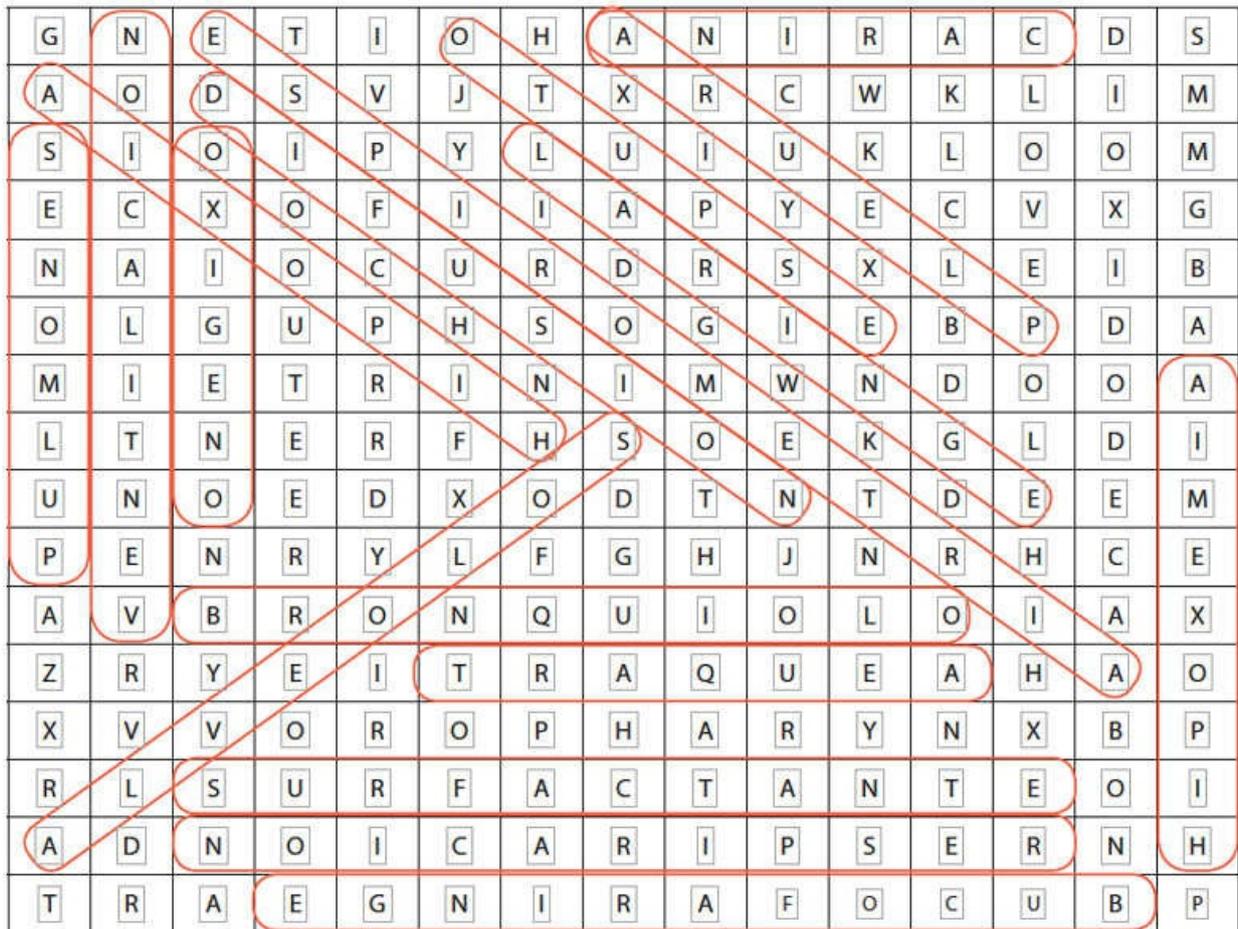
Horizontales

1. Respiración externa
5. Alvéolo
7. Volumen corriente
9. Hipoxia
10. Dióxido de carbono
13. Laringe
14. Hemoglobina
15. Fick
16. Taquipnea

Verticales

1. Espiración
2. Tráquea
3. Surfactante
4. Oxígeno
6. Capacidad vital
8. Lóbulos
9. Hipoxemia
11. Disnea
12. Pleura

Búsqueda de palabras



Llene los espacios

Los pulmones se dividen en regiones bien delimitadas llamadas **lóbulos**. El corazón se aloja en un espacio denominado **escotadura cardiaca**, que se encuentra entre ambos pulmones. Cada pulmón es protegido por dos membranas, las **pleuras visceral** y parietal. Las vías respiratorias inferiores comienzan en la **tráquea**. En un punto llamado **carina** las vías respiratorias se subdividen en los **bronquios primarios** derecho e izquierdo, que vuelven a dividirse en los **bronquios secundarios**. La siguiente rama del árbol bronquial son los **bronquios terciarios**, todos los cuales desembocan en una red de **bronquiolos**. Al fin las vías respiratorias terminan en un **bronquiolo terminal**. De este punto en adelante esta región de las vías respiratorias recibe el nombre de **lobulillo**. Dentro de esta región las vías respiratorias se subdividen aún más en **bronquiolos respiratorios**, **conductos alveolares** y **alvéolos**.

Capítulo 12

Preguntas de opción múltiple

1. (b); 2. (a); 3. (a); 4. (d); 5. (b); 6. (c); 7. (d); 8. (a); 9. (d); 10. (b).

Falso o verdadero

1. Falso.
2. Falso.
3. Falso.
4. Falso.
5. Verdadero.
6. Falso.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Falso.
10. Falso.

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| M | T | O | L | U | C | I | L | O | F | F | N | M | D | W |
| A | L | E | O | M | A | T | O | F | E | N | E | T | I | S |
| B | B | O | S | G | A | C | I | N | O | N | G | F | H | S |
| U | J | F | Y | T | Z | V | A | N | S | M | A | R | R | A |
| L | N | N | I | N | O | M | U | T | I | H | R | E | E | D |
| B | R | O | X | M | R | S | R | L | V | I | T | N | S | A |
| O | S | C | I | E | B | U | T | E | V | S | S | I | T | N |
| U | S | R | P | P | A | R | S | E | A | A | E | L | R | O |
| R | C | S | E | C | O | I | I | M | R | P | O | L | O | G |
| E | E | W | I | P | C | L | E | A | N | O | T | O | G | H |
| T | Y | O | Q | U | W | R | A | J | S | X | N | J | E | B |
| R | N | X | L | O | C | O | U | F | J | Z | O | A | N | V |
| A | P | A | W | F | Q | Z | C | S | F | Y | T | G | O | L |
| L | S | O | N | I | L | O | T | R | A | B | J | B | S | E |
| L | Z | A | K | B | E | V | E | S | T | I | B | U | L | O |

Llene los espacios 1

La **menstruación** es el sangrado **vaginal** normal que ocurre como parte del ciclo

con periodicidad **mensual** de la mujer. Cada mes, el cuerpo de la mujer se **prepara** para el **embarazo**. Si éste no ocurre, el **útero** (también llamado **matriz**) **pierde** su **recubrimiento**. El fluido menstrual es en parte **tejido** y en parte **sangre** del **interior** del útero. **Sale** del cuerpo por la **vagina**.

Llene los espacios 2

La menopausia es una **fase** de la vida de la mujer que **significa** el fin de su periodo **reproductivo**. **Significa** el fin de la **menstruación**. Esto implica que los **ovarios** de la mujer **dejan** de producir un **óvulo** cada cuatro **semanas** y ya no hay un periodo **mensual**. Después de la **menopausia** una mujer ya **no** puede tener **hijos**.

Capítulo 13

Preguntas de opción múltiple

1. (c); 2. (a); 3. (c); 4. (a); 5. (c); 6. (c); 7. (c); 8. (a); 9. (b); 10. (b, c).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Falso.
3. Verdadero.
4. Falso.
5. Falso.
6. Verdadero.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Falso
10. Verdadero.

Crucigrama

Horizontales

2. Neurona
4. Vago
6. Óptico
7. Aracnoides
9. Duramadre
10. Astrocito
11. Hipófisis
13. Olfatorio
17. Involuntario
18. Bulbo raquídeo
19. Encéfalo

Verticales

1. Sistema nervioso somático
3. Eferente
5. Acetilcolina
8. Hipotálamo
11. Potasio
12. Aferente
14. Piamadre
15. Microglia
16. Sodio

Capítulo 14

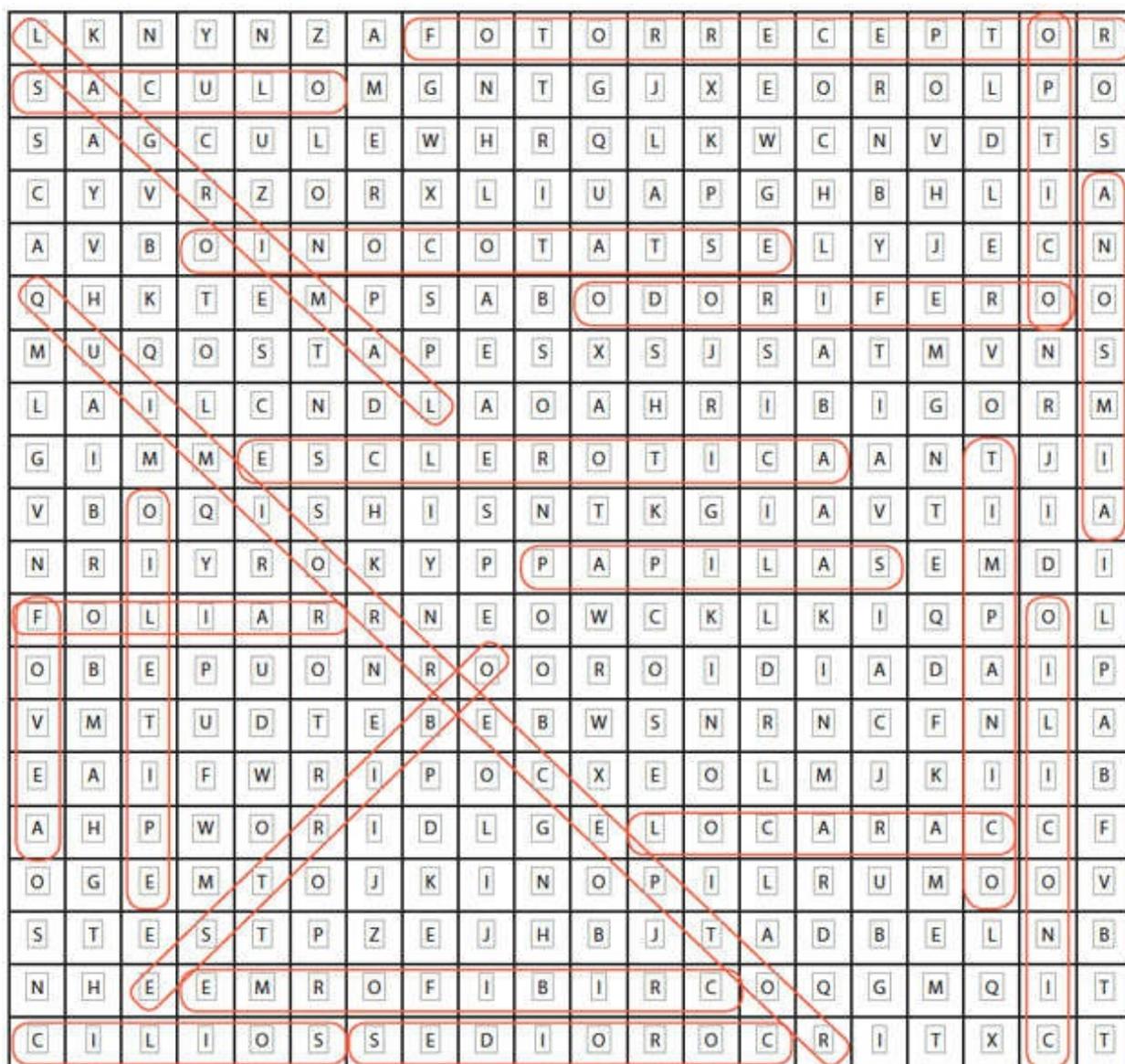
Preguntas de opción múltiple

1. (a); 2. (c); 3. (a); 4. (d); 5. (b); 6. (d); 7. (c); 8. (b); 9. (b); 10. (d).

Falso o verdadero

1. Falso.
2. Verdadero.
3. Verdadero.
4. Falso.
5. Falso.
6. Verdadero.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Verdadero.
10. Verdadero.

Búsqueda de palabras



Crucigrama

Horizontales

1. Canales semicirculares
5. Huesecillos
6. Estribo
7. Cristalino
9. Conjuntiva
11. Ampolla
12. Caracol
13. Iris
14. Perilinf
15. Humor vítreo
16. Adaptación central

Verticales

1. Estatoconios
2. Cresta
3. Túnica neural
4. Esclerótica
7. Ligamentos
8. Papilas valladas
9. Córnea
10. Membrana timpánica

Llene los espacios

Las ondas sónicas que entran en el conducto **auditivo** externo viajan hasta llegar a la membrana timpánica (**tímpano**), una delgada membrana translúcida de tejido **conjuntivo** cubierta por piel en su superficie **externa** e internamente por **mucosa**, y con forma de un cono aplanado que protruye en el oído medio. Las **ondas** sónicas que llegan a la **membrana** timpánica la hacen **vibrar**, y esta vibración se transmite a los huesecillos del oído medio.

Observe los diagramas

1. (c); 2. (b); 3. (a); 4. (d)

Capítulo 15

Preguntas de opción múltiple

1. (a); 2. (b); 3. (d); 4. (d); 5. (b); 6. (c); 7. (b); 8. (b); 9. (b); 10. (b).

Falso o verdadero

1. Falso.
2. Verdadero.
3. Verdadero.
4. Falso.
5. Verdadero.
6. Verdadero.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Verdadero.
10. Falso.

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| B | Z | S | X | T | A | I | D | E | M | A | D | I | V | C | P | N | J | H | H |
| A | J | B | B | G | W | J | T | O | F | K | G | Y | P | H | H | E | O | G | C |
| G | L | U | C | O | G | E | N | O | U | O | L | H | S | T | U | U | Q | R | R |
| L | O | J | I | E | S | Z | O | X | C | N | A | C | S | H | R | R | O | A | O |
| U | B | R | V | W | E | X | O | C | R | I | N | E | O | Q | D | A | L | V | A |
| C | U | A | U | S | A | N | T | M | Y | M | D | N | T | D | G | L | I | E | A |
| A | L | F | V | H | N | H | O | W | L | A | U | B | S | U | M | H | T | S | I |
| G | O | V | N | C | I | G | U | R | E | K | L | L | G | A | K | P | B | U | N |
| O | F | I | V | H | X | H | I | S | E | B | A | O | A | T | E | R | C | E | S |
| N | H | V | O | Y | O | P | I | T | U | I | T | A | R | I | A | A | G | M | U |
| W | H | I | I | J | R | R | P | D | V | H | S | A | I | U | H | L | R | J | L |
| A | I | L | Q | K | I | K | B | C | H | I | P | O | D | S | E | D | O | S | I |
| N | P | C | O | R | T | I | S | O | L | P | C | W | D | I | B | O | T | R | N |
| T | M | O | J | I | D | S | C | R | E | E | E | B | O | S | P | S | P | R | A |
| O | N | R | H | U | R | L | D | T | C | R | K | U | B | I | A | T | E | J | S |
| O | M | T | S | I | B | O | S | E | C | K | Q | R | B | F | C | E | C | L | K |
| L | P | E | H | T | B | T | P | Z | B | J | N | I | N | O | U | R | E | S | L |
| H | R | X | C | I | E | E | T | A | U | Q | V | A | C | P | X | O | R | B | G |
| A | L | O | R | E | T | S | E | L | O | C | C | E | D | I | U | N | P | T | B |
| N | O | R | S | M | A | E | S | T | R | E | S | W | W | H | F | A | U | D | G |

Llene los espacios

La influencia de un **estímulo** desde dentro o fuera del **cuerpo** induce la liberación de una **hormona** que tiene un efecto sobre el estímulo; después de esto, algún aspecto del funcionamiento del órgano **objetivo** **inhibe** cualquier reacción ulterior al estímulo y por tanto la liberación ulterior de la hormona por el órgano.

Capítulo 16

Preguntas de opción múltiple

1. (a); 2. (b); 3. (d); 4. (d); 5. (a); 6. (c); 7. (d); 8. (c); 9. (c); 10. (b).

Falso o verdadero

1. Falso: los fagocitos son leucocitos.
2. Verdadero.
3. Verdadero
4. Falso: provienen de células madre multipotentes.
5. Falso: son monocitos y macrófagos tisulares los que pertenecen a la familia de los macrófagos.
6. Falso: son algunos de los linfocitos B los que se convierten en células plasmáticas.
7. Verdadero.
8. Verdadero.
9. Verdadero.
10. Falso: el estornudo es una barrera mecánica.

Llene los espacios

Los granulocitos son de tres tipos: neutrófilos, eosinófilos y basófilos. Estas células se llaman granulocitos porque, a gran aumento, parecen estar llenas de pequeños gránulos. Sin embargo, éstos son en realidad vacuolas (o espacios vacíos) dentro de las células, y tienen una participación muy importante en el proceso de fagocitosis, que es la destrucción de microorganismos infecciosos, como bacterias y virus. Lo primero que hacen es engullirlos antes de destruirlos; con ello también proporcionan nutrición a la célula.

Búsqueda de palabras

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| P | F | A | G | O | C | I | T | O | S | I | S | G |
| L | X | V | N | W | I | G | E | T | C | N | I | A |
| A | J | K | E | X | T | D | N | I | A | F | H | N |
| T | U | U | E | D | O | N | T | C | B | L | M | G |
| E | G | X | L | N | T | Y | I | O | M | A | R | L |
| S | Y | M | P | H | O | C | M | F | E | M | R | I |
| A | W | A | S | T | X | Y | O | N | X | A | S | O |
| M | S | O | I | L | I | C | Z | I | N | C | R | N |
| I | C | E | P | T | D | Y | A | L | X | I | G | M |
| R | R | A | I | L | A | C | B | V | L | O | G | M |
| G | S | R | A | E | D | S | Q | U | A | N | L | W |
| A | P | L | A | Q | U | E | T | A | S | N | V | X |
| L | C | E | L | U | L | A | N | K | K | C | E | L |

Capítulo 17

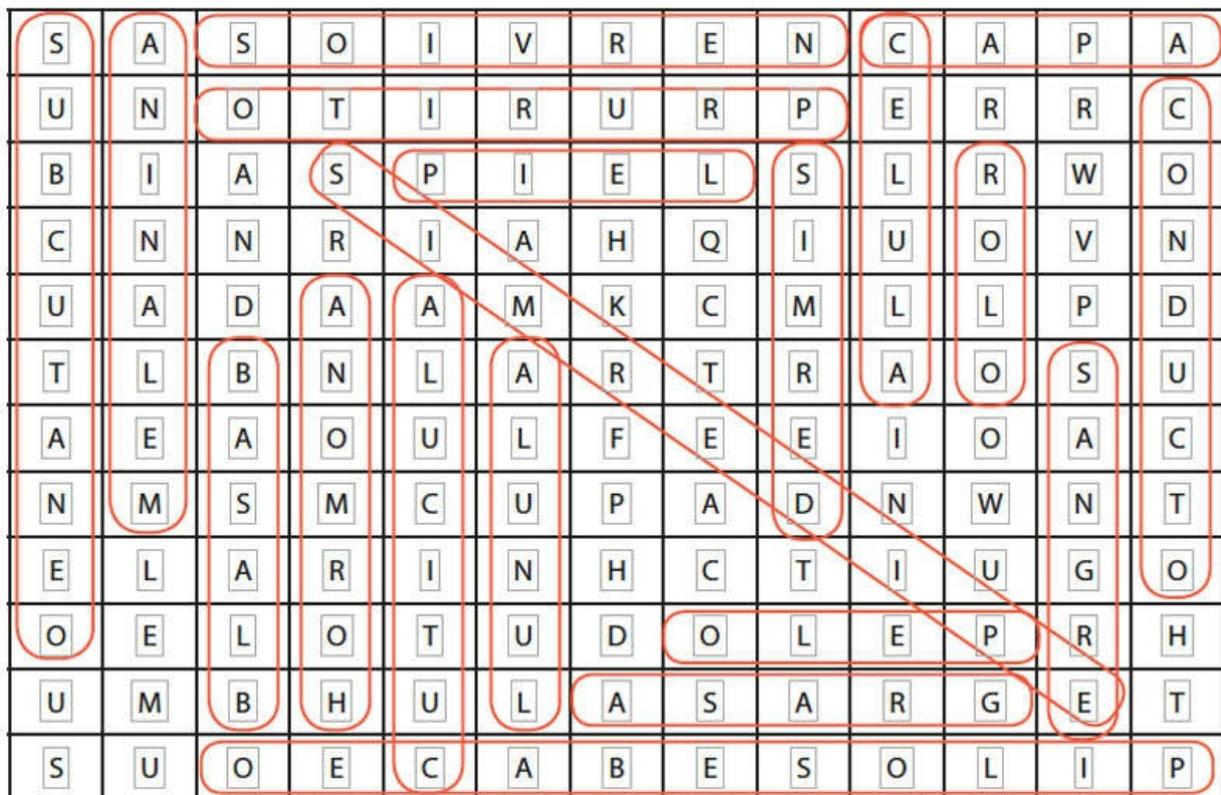
Preguntas de opción múltiple

1. (d); 2. (c); 3. (d); 4. (c); 5. (b); 6. (a); 7. (d); 8. (c); 9. (d); 10. (a).

Falso o verdadero

1. Verdadero.
2. Falso.
3. Verdadero.
4. Falso.
5. Falso.
6. Verdadero.
7. Verdadero.
8. Falso.
9. Falso.
10. Verdadero.

Búsqueda de palabras



Llene los espacios

La piel tiene **dos** capas. La capa externa es la **epidermis** y la interna es la **dermis**. La capa dérmica contiene **folículos pilosos**, **glándulas sebáceas**, pequeños vasos sanguíneos llamados **capilares** y un pigmento denominado **melanina** que ayuda a

proteger contra los rayos **ultravioleta**. La piel tiene varias funciones, y una de ellas se relaciona con el control del calor; esto recibe el nombre de **termorregulación**. La piel también protege contra la invasión del cuerpo por **microorganismos**. La piel es el órgano **más grande** del cuerpo. Cuando la temperatura de una persona aumenta, los vasos sanguíneos en la **superficie** de la piel se **dilatan**. La liberación de **sudor** ayuda a la persona a **enfriarse**.

La **epidermis** se encuentra en el **exterior** de la piel y consiste en **capas de células** con una superficie basal. Esta capa experimenta la **división celular**. Las células recién divididas gradualmente **se desplazan hacia la superficie**; esto puede tardar alrededor de **1 o 2 meses**. Cuando las células poco a poco **mueren** se **aplanan**, y la **queratina**, la capa más externa de **células muertas aplanadas**, es erosionada **en forma continua** por la **fricción**. La **queratina** y el **aceite** de las **glándulas sebáceas** ayudan a hacer la piel **impermeable**.

Índice

| | |
|--|----|
| Colaboradores | 27 |
| Agradecimientos | 32 |
| Prefacio | 34 |
| Prefijos y sufijos | 41 |
| Cómo usar este libro de texto | 58 |
| Capítulo 1. Principios científicos básicos de fisiología | 61 |
| Introducción | 63 |
| Niveles de organización | 64 |
| Características de la vida | 65 |
| Requerimientos corporales | 66 |
| Átomos | 67 |
| Número atómico | 68 |
| Átomo de carbono | 68 |
| Moléculas | 69 |
| Enlaces químicos | 70 |
| Enlaces iónicos | 70 |
| Iones | 71 |
| Enlaces covalentes | 72 |
| Enlaces polares | 74 |
| Electrólitos | 75 |
| Elementos | 76 |
| Propiedades de los elementos | 77 |
| Compuestos | 79 |
| Ecuaciones y reacciones químicas | 80 |
| Ácidos y bases (pH) | 84 |
| Sangre y valores de pH | 87 |
| Homeostasis | 88 |
| Sustancias orgánicas e inorgánicas | 89 |
| Ejemplos de sustancias orgánicas | 89 |
| Carbohidratos | 89 |
| Grasas (lípidos) | 89 |
| Proteínas | 90 |
| Ejemplos de sustancias inorgánicas | 90 |
| Agua (H ₂ O) | 90 |
| Oxígeno (O ₂) | 90 |

| | |
|---|-----|
| Unidades de medición | 91 |
| Conclusión | 95 |
| Glosario | 96 |
| Bibliografía | 98 |
| Actividades | 99 |
| Preguntas de opción múltiple | 99 |
| Falso o verdadero | 100 |
| Rotule el diagrama 1 | 100 |
| Llene los espacios 1 | 101 |
| Búsqueda de palabras 1 | 101 |
| Ponga a prueba su aprendizaje | 102 |
| Para profundizar | 102 |
| Llene los espacios 2 | 103 |
| Búsqueda de palabras 2 | 103 |
| Rotule el diagrama 2 | 104 |
| Capítulo 2. Células, compartimientos celulares, sistemas de transporte y movimiento de líquidos entre compartimientos | 105 |
| Introducción | 107 |
| Membrana celular | 111 |
| Funciones de la membrana celular | 113 |
| Compartimientos hídricos celulares | 116 |
| Líquido intracelular | 116 |
| Líquido extracelular | 116 |
| Movimiento de líquidos entre compartimientos | 118 |
| Composición del líquido corporal | 119 |
| Efectos de la deficiencia de agua | 121 |
| Variación en el contenido de líquido corporal | 122 |
| Sistemas de transporte | 123 |
| Difusión simple | 123 |
| Difusión facilitada | 124 |
| Ósmosis | 125 |
| Filtración | 126 |
| Sistema de transporte activo | 127 |
| Transporte activo | 127 |
| Endocitosis | 128 |
| Exocitosis | 129 |
| Electrólitos | 131 |
| Funciones de los electrolitos | 132 |

| | |
|--|------------|
| Hormonas que regulan agua y electrólitos | 138 |
| Vasopresina | 138 |
| Aldosterona | 139 |
| Péptido natriurético auricular (PNA) | 139 |
| Paratirina | 139 |
| Conclusión | 141 |
| Glosario | 142 |
| Bibliografía | 143 |
| Lecturas adicionales | 144 |
| Actividades | 145 |
| Preguntas de opción múltiple | 145 |
| Falso o verdadero | 146 |
| Rotule el diagrama 1 | 146 |
| Rotule el diagrama 2 | 147 |
| Encierre en un círculo el término | 148 |
| Búsqueda de palabras | 148 |
| Para profundizar | 149 |
| Símbolos químicos | 149 |
| Llene los espacios 1 | 150 |
| Llene los espacios 2 | 150 |
| Afecciones | 150 |
| Capítulo 3. Genética | 152 |
| Mapa anatómico | 154 |
| Introducción | 155 |
| La doble hélice | 157 |
| Nucleótidos | 157 |
| Bases | 158 |
| Cromosomas | 160 |
| De DNA a proteínas | 164 |
| Síntesis de proteína | 164 |
| Transcripción | 166 |
| Traducción | 167 |
| Pasos clave en la síntesis de proteínas | 167 |
| Resumen de la síntesis de proteínas | 170 |
| Transferencia de genes | 173 |
| Mitosis | 173 |
| Interfase | 173 |
| Profase | 175 |

| | |
|--|-----|
| Metafase | 175 |
| Anafase | 175 |
| Telofase | 175 |
| División celular | 175 |
| Meiosis | 176 |
| Primera división meiótica | 178 |
| Profase I | 178 |
| Metafase I | 179 |
| Anafase I | 179 |
| Telofase I | 180 |
| Segunda división meiótica | 180 |
| Genética mendeliana | 181 |
| Genes dominantes y recesivos | 182 |
| Herencia autosómica dominante y enfermedad | 183 |
| Herencia autosómica recesiva y enfermedad | 184 |
| Morbilidad y mortalidad de los trastornos dominantes y los recesivos | 187 |
| Trastornos recesivos ligados al cromosoma X (ligados al sexo) | 187 |
| Mutación espontánea | 190 |
| Conclusión | 191 |
| Glosario | 192 |
| Bibliografía | 195 |
| Lecturas adicionales | 196 |
| Actividades | 197 |
| Preguntas de opción múltiple | 197 |
| Falso o verdadero | 198 |
| Rotule el diagrama 1 | 198 |
| Rotule el diagrama 2 | 199 |
| Ponga a prueba su aprendizaje | 200 |
| Llene los espacios | 200 |
| Búsqueda de palabras | 200 |
| Afecciones | 201 |
| Capítulo 4. Tejidos | 202 |
| Introducción | 204 |
| Tejido epitelial | 205 |
| Epitelio simple | 206 |
| Epitelio estratificado | 209 |
| Epitelios glandulares | 211 |
| Tejido conjuntivo | 213 |

| | |
|--|------------|
| Tejido conjuntivo propio | 215 |
| Tejido conjuntivo laxo | 216 |
| Tejido conjuntivo denso | 217 |
| Cartílago | 217 |
| Hueso | 219 |
| Tejido conjuntivo líquido | 219 |
| Membranas | 221 |
| Membranas cutáneas | 221 |
| Membranas mucosas | 221 |
| Membranas serosas | 221 |
| Membranas sinoviales | 221 |
| Tejido muscular | 223 |
| Tejido nervioso | 225 |
| Reparación tisular | 226 |
| Conclusión | 228 |
| Glosario | 229 |
| Bibliografía | 231 |
| Actividades | 232 |
| Preguntas de opción múltiple | 232 |
| Falso o verdadero | 233 |
| Rotule el diagrama 1 | 233 |
| Rotule el diagrama 2 | 234 |
| Crucigrama | 234 |
| Búsqueda de palabras | 236 |
| Llene los espacios | 236 |
| Para profundizar | 237 |
| Capítulo 5. Sistema esquelético | 238 |
| Mapa del cuerpo | 240 |
| Introducción | 241 |
| Esqueletos axial y apendicular | 242 |
| Esqueleto axial | 242 |
| Esqueleto apendicular | 242 |
| El hueso y sus funciones | 246 |
| Soporte | 246 |
| Movimiento | 246 |
| Almacenamiento | 247 |
| Protección | 247 |
| Producción | 248 |

| | |
|--|------------|
| Formación y crecimiento del hueso (osteogénesis y osificación) | 250 |
| Formación embrionaria | 251 |
| Osificación intramembranosa | 251 |
| Osificación endocondral | 252 |
| Longitud y espesor del hueso | 254 |
| Remodelación del hueso | 254 |
| Fracturas óseas | 256 |
| Estructura y riego sanguíneo del hueso (histología) | 258 |
| Riego sanguíneo | 259 |
| Organización del hueso con base en la forma | 261 |
| Huesos largos | 261 |
| Huesos cortos | 262 |
| Huesos planos | 264 |
| Huesos irregulares | 265 |
| Huesos sesamoideos | 265 |
| Articulaciones | 267 |
| Articulaciones fibrosas | 267 |
| Articulaciones cartilagosas | 267 |
| Articulaciones sinoviales | 267 |
| Conclusión | 272 |
| Glosario | 273 |
| Bibliografía | 275 |
| Lecturas adicionales | 276 |
| Actividades | 277 |
| Preguntas de opción múltiple | 277 |
| Falso o verdadero | 278 |
| Rotule el diagrama 1 | 278 |
| Rotule el diagrama 2 | 279 |
| Búsqueda de palabras | 280 |
| Llene los espacios | 281 |
| Relacione el hueso con su forma | 281 |
| Para profundizar | 282 |
| Afecciones | 282 |
| Capítulo 6. Sistema muscular | 283 |
| Mapa del cuerpo humano | 285 |
| Introducción | 286 |
| Tipos de tejido muscular | 287 |
| Músculo liso o visceral | 287 |

| | |
|--|-----|
| Músculo cardíaco | 287 |
| Músculo esquelético | 287 |
| Funciones de la musculatura | 289 |
| Mantenimiento de la postura corporal | 289 |
| Producción de movimiento | 289 |
| Estabilización de articulaciones | 289 |
| Protección y control de estructuras y órganos internos | 289 |
| Generación de calor | 289 |
| Composición del tejido muscular esquelético | 290 |
| Anatomía macroscópica de los músculos esqueléticos | 291 |
| Microanatomía de una fibra de músculo esquelético | 293 |
| Sarcolema y túbulos transversos | 294 |
| Sarcoplasma | 294 |
| Miofibrillas | 294 |
| Sarcómeras | 294 |
| Tipos de fibras musculares | 296 |
| Suministro sanguíneo | 297 |
| Contracción y relajación del músculo esquelético | 298 |
| Fuentes de energía para la contracción muscular | 302 |
| Respiración aeróbica | 303 |
| Déficit de oxígeno | 304 |
| Fatiga muscular | 305 |
| Organización de la musculatura | 306 |
| Movimiento del músculo esquelético | 320 |
| Efectos del envejecimiento | 322 |
| Conclusión | 323 |
| Glosario | 324 |
| Bibliografía | 325 |
| Lecturas adicionales | 326 |
| Actividades | 327 |
| Preguntas de opción múltiple | 327 |
| Falso o verdadero | 328 |
| Rotule el diagrama 1 | 328 |
| Rotule el diagrama 2 | 329 |
| Crucigrama | 330 |
| Para profundizar | 331 |
| Afecciones | 332 |
| Capítulo 7. Sistema circulatorio | 333 |

| | |
|---|-----|
| Mapa del cuerpo | 335 |
| Introducción | 336 |
| Componentes de la sangre | 337 |
| Propiedades de la sangre | 339 |
| Plasma | 340 |
| Agua en el plasma | 341 |
| Funciones de la sangre | 342 |
| Formación de glóbulos sanguíneos | 344 |
| Eritrocitos | 346 |
| Hemoglobina | 348 |
| Formación de eritrocitos | 350 |
| Ciclo de vida del eritrocito | 351 |
| Transporte de gases respiratorios | 352 |
| Leucocitos | 354 |
| Neutrófilos | 354 |
| Eosinófilos | 355 |
| Basófilos | 356 |
| Monocitos | 356 |
| Linfocitos | 357 |
| Plaquetas | 359 |
| Hemostasia | 360 |
| Vasoconstricción | 360 |
| Agregación de plaquetas | 360 |
| Coagulación | 361 |
| Tipos sanguíneos | 365 |
| Vasos sanguíneos | 367 |
| Estructura y función de arterias y venas | 367 |
| Capilares | 371 |
| Presión arterial | 373 |
| Factores fisiológicos que regulan la presión arterial | 373 |
| Control de la presión arterial | 373 |
| Sistema linfático | 375 |
| Linfá | 377 |
| Capilares linfáticos y vasos linfáticos grandes | 378 |
| Ganglios linfáticos | 378 |
| Órganos linfáticos | 382 |
| Bazo | 382 |
| Timo | 382 |

| | |
|--|------------|
| Funciones del sistema linfático | 383 |
| Conclusión | 384 |
| Glosario | 385 |
| Bibliografía | 386 |
| Lecturas adicionales | 387 |
| Actividades | 388 |
| Preguntas de opción múltiple | 388 |
| Falso o verdadero | 389 |
| Rotule el diagrama 1 | 389 |
| Rotule el diagrama 2 | 390 |
| Tipos sanguíneos | 392 |
| Búsqueda de palabras | 392 |
| Llene los espacios | 392 |
| Sangre | 392 |
| Vasos sanguíneos | 393 |
| Sistema linfático | 393 |
| Para profundizar | 394 |
| Afecciones | 394 |
| Capítulo 8. Corazón | 395 |
| Mapa del cuerpo | 397 |
| Introducción | 398 |
| Tamaño y sitio del corazón | 399 |
| Estructuras del corazón | 400 |
| Pared cardiaca | 400 |
| Pericardio | 400 |
| Miocardio | 401 |
| Potencial de acción cardiaco | 402 |
| Endocardio | 402 |
| Cámaras cardiacas | 403 |
| Aurículas | 403 |
| Ventrículos | 404 |
| Suministro sanguíneo del corazón | 406 |
| Flujo sanguíneo por el corazón | 411 |
| Vías eléctricas del corazón | 414 |
| Ciclo cardiaco | 421 |
| Factores que afectan el gasto cardiaco | 425 |
| Regulación del volumen sistólico | 426 |
| Precarga | 426 |

| | |
|---|------------|
| Fuerza de contracción | 426 |
| Poscarga | 427 |
| Regulación de la frecuencia cardiaca | 429 |
| Actividad del sistema nervioso autónomo | 429 |
| Barorreceptores y centro cardiovascular | 429 |
| Actividad hormonal | 431 |
| Conclusión | 432 |
| Glosario | 433 |
| Bibliografía | 436 |
| Lecturas adicionales | 437 |
| Actividades | 438 |
| Preguntas de opción múltiple | 438 |
| Falso o verdadero | 439 |
| Rotule el diagrama 1 | 439 |
| Rotule el diagrama 2 | 440 |
| Búsqueda de palabras | 441 |
| Llene los espacios | 442 |
| Para profundizar | 443 |
| Afecciones | 443 |
| Capítulo 9. Aparato digestivo | 444 |
| Mapa del cuerpo | 446 |
| Introducción | 447 |
| Actividad del aparato digestivo | 449 |
| Organización del aparato digestivo | 450 |
| Órganos del aparato digestivo | 451 |
| Boca (cavidad bucal) | 451 |
| Lengua | 451 |
| Paladar | 452 |
| Dientes | 452 |
| Glándulas salivales | 453 |
| Faringe | 455 |
| Deglución | 456 |
| Esófago | 457 |
| Estructura del aparato digestivo | 459 |
| Estómago | 460 |
| Intestino delgado | 466 |
| Digestión química | 468 |
| Función del intestino delgado | 469 |

| | |
|--|------------|
| Páncreas | 470 |
| Hígado y producción de bilis | 473 |
| Funciones del hígado | 474 |
| Vesícula biliar | 476 |
| Intestino grueso | 477 |
| Hormonas del tubo digestivo | 479 |
| Nutrición, digestión química y metabolismo | 480 |
| Nutrimentos | 480 |
| Alimentación equilibrada | 480 |
| Grupos de nutrimentos | 481 |
| Agua | 482 |
| Carbohidratos | 482 |
| Grasas | 483 |
| Proteínas | 483 |
| Vitaminas | 484 |
| Minerales | 486 |
| Conclusión | 488 |
| Glosario | 489 |
| Bibliografía | 493 |
| Lecturas adicionales | 494 |
| Actividades | 495 |
| Preguntas de opción múltiple | 495 |
| Falso o verdadero | 496 |
| Rotule el diagrama 1 | 496 |
| Rotule el diagrama 2 | 497 |
| Crucigrama | 498 |
| Llene los espacios | 500 |
| Para profundizar | 500 |
| Ponga a prueba su aprendizaje | 501 |
| Afecciones | 501 |
| Capítulo 10. Aparato urinario | 502 |
| Mapa del cuerpo | 504 |
| Introducción | 505 |
| Aparato urinario | 506 |
| Riñones: estructura externa | 507 |
| Riñones: estructura interna | 509 |
| Nefronas | 513 |
| Cápsula glomerular (de Bowman) | 515 |

| | |
|--|-----|
| Túbulo contorneado proximal (TCP) | 515 |
| Asa de Henle | 516 |
| Túbulo contorneado distal (TCD) | 516 |
| Conductos colectores | 517 |
| Funciones de los riñones | 519 |
| Riego sanguíneo del riñón | 522 |
| Formación de la orina | 524 |
| Filtración | 524 |
| Reabsorción selectiva | 524 |
| Excreción | 526 |
| Control hormonal de la reabsorción y secreción tubulares | 527 |
| Angiotensina y aldosterona | 527 |
| Vasopresina | 527 |
| Péptido natriurético auricular | 528 |
| Composición de la orina | 529 |
| Características de la orina normal | 530 |
| Uréteres | 533 |
| Vejiga urinaria | 535 |
| Uretra | 538 |
| Uretra masculina | 538 |
| Uretra femenina | 539 |
| Micción | 541 |
| Conclusión | 542 |
| Glosario | 543 |
| Bibliografía | 544 |
| Lecturas adicionales | 545 |
| Actividades | 546 |
| Preguntas de opción múltiple | 546 |
| Falso o verdadero | 547 |
| Rotule el diagrama 1 | 547 |
| Rotule el diagrama 2 | 548 |
| Crucigrama | 549 |
| Búsqueda de palabras | 551 |
| Llene los espacios | 551 |
| Para profundizar | 552 |
| Afecciones | 552 |
| Capítulo 11. Aparato respiratorio | 554 |
| Mapa del cuerpo | 556 |

| | |
|---------------------------------------|-----|
| Introducción | 557 |
| Organización del aparato respiratorio | 558 |
| Vías respiratorias superiores | 560 |
| Vías respiratorias inferiores | 562 |
| Laringe | 562 |
| Tráquea | 563 |
| Árbol bronquial | 564 |
| Riego sanguíneo | 568 |
| Respiración | 569 |
| Ventilación pulmonar | 570 |
| Mecánica de la respiración | 570 |
| Trabajo respiratorio | 574 |
| Volúmenes y capacidades | 575 |
| Control de la respiración | 577 |
| Respiración externa | 579 |
| Intercambio gaseoso | 579 |
| Factores que influyen en la difusión | 579 |
| Ventilación y perfusión | 584 |
| Transporte de gases | 585 |
| Transporte de oxígeno | 585 |
| Hipoxia e hipoxemia | 587 |
| Transporte de dióxido de carbono | 588 |
| Equilibrio acidobásico | 589 |
| Respiración interna | 591 |
| Conclusión | 593 |
| Glosario | 594 |
| Bibliografía | 598 |
| Lecturas adicionales | 600 |
| Actividades | 601 |
| Preguntas de opción múltiple | 601 |
| Falso o verdadero | 602 |
| Rotule el diagrama 1 | 602 |
| Rotule el diagrama 2 | 603 |
| Rotule el diagrama 3 | 604 |
| Crucigrama | 605 |
| Búsqueda de palabras | 606 |
| Llene los espacios | 607 |
| Para profundizar | 608 |

| | |
|--|-----|
| Afecciones | 608 |
| Capítulo 12. Aparatos reproductores | 609 |
| Introducción | 612 |
| Aparato reproductor masculino | 613 |
| Testículos | 614 |
| Espermatogénesis | 616 |
| Espermatozoides | 617 |
| Testículos e influencias hormonales | 619 |
| Escroto | 620 |
| Reflejo cremastérico | 622 |
| Pene | 622 |
| Epidídimo | 624 |
| Conducto deferente, conducto eyaculador y cordón espermático | 624 |
| Próstata | 624 |
| Aparato reproductor femenino | 626 |
| Genitales primarios | 626 |
| Ovarios | 627 |
| Corteza ovárica | 628 |
| Folículos de Graaf | 628 |
| Cuerpo amarillo | 628 |
| Médula ovárica | 628 |
| Ovogénesis | 630 |
| Función de las hormonas sexuales femeninas | 632 |
| Ciclo menstrual | 632 |
| Órganos internos | 634 |
| Útero | 635 |
| Trompas de Falopio | 636 |
| Vagina | 637 |
| Cuello uterino | 637 |
| Genitales externos | 637 |
| Mamas | 638 |
| Conclusión | 640 |
| Glosario | 641 |
| Bibliografía | 643 |
| Lecturas adicionales | 644 |
| Actividades | 645 |
| Preguntas de opción múltiple | 645 |
| Falso o verdadero | 646 |

| | |
|--|------------|
| Rotule el diagrama 1 | 646 |
| Rotule el diagrama 2 | 647 |
| Búsqueda de palabras | 648 |
| Llene los espacios 1 | 649 |
| Llene los espacios 2 | 649 |
| Para profundizar | 650 |
| Afecciones | 650 |
| Capítulo 13. Sistema nervioso | 651 |
| Mapa del cuerpo | 653 |
| Introducción | 654 |
| Organización del sistema nervioso | 655 |
| División sensitiva del sistema nervioso periférico | 656 |
| Sistema nervioso central | 657 |
| División motora del sistema nervioso periférico | 658 |
| Sistema nervioso somático | 658 |
| Sistema nervioso autónomo | 658 |
| Neuronas | 658 |
| Dendritas | 660 |
| Cuerpo celular | 660 |
| Axones | 660 |
| Vaina de mielina | 660 |
| Nervios sensitivos (aférentes) | 661 |
| Nervios motores (eferentes) | 661 |
| Potencial de acción | 661 |
| Propagación simple de impulsos nerviosos | 662 |
| Conducción saltatoria | 663 |
| Periodo refractario | 664 |
| Neurotransmisores | 665 |
| Neuroglia | 666 |
| Meninges | 668 |
| Líquido cefalorraquídeo | 670 |
| Encéfalo | 672 |
| Cerebro | 673 |
| Diencefalo | 675 |
| Tallo encefálico | 675 |
| Cerebelo | 676 |
| Sistema límbico y formación reticular | 676 |
| Sistema nervioso periférico | 678 |

| | |
|---|------------|
| Pares craneales | 679 |
| Médula espinal | 682 |
| Funciones de la médula espinal | 683 |
| Nervios raquídeos | 683 |
| Sistema nervioso autónomo | 688 |
| División simpática (lucha o huida) | 688 |
| División parasimpática (reposo y digestión) | 689 |
| Conclusión | 693 |
| Glosario | 694 |
| Bibliografía | 696 |
| Lecturas adicionales | 697 |
| Actividades | 698 |
| Preguntas de opción múltiple | 698 |
| Falso o verdadero | 699 |
| Rotule el diagrama 1 | 699 |
| Rotule el diagrama 2 | 700 |
| Crucigrama | 701 |
| Para profundizar | 703 |
| Afecciones | 703 |
| Capítulo 14. Los sentidos | 705 |
| Introducción | 707 |
| Sentidos químicos | 708 |
| Sentido del olfato (olfacción) | 708 |
| Receptores olfatorios | 709 |
| Vía olfatoria | 710 |
| Discriminación olfatoria | 712 |
| Sentido del gusto | 713 |
| Papilas gustativas | 715 |
| Receptor gustativo | 716 |
| Vía gustativa | 717 |
| Sentidos del equilibrio y la audición | 719 |
| Estructura del oído | 719 |
| Oído externo | 719 |
| Oído medio | 720 |
| Oído interno | 722 |
| Equilibrio | 723 |
| Vías para las sensaciones del equilibrio | 727 |
| Audición | 728 |

| | |
|--|------------|
| Proceso de la audición | 731 |
| Sentido de la vista | 734 |
| Aparato lagrimal | 735 |
| Ojo | 735 |
| Pared ocular | 735 |
| Túnica fibrosa | 736 |
| Túnica vascular (úvea) | 737 |
| Iris | 737 |
| Cuerpo ciliar | 737 |
| Coroides | 738 |
| Túnica neural (retina) | 738 |
| Organización de la retina | 738 |
| Cámaras oculares | 740 |
| Enfoque de imágenes en la retina | 742 |
| Refracción | 742 |
| Miopía, hipermetropía y presbicia | 744 |
| Procesamiento de la información visual | 747 |
| Procesamiento central de la información visual | 748 |
| Conclusión | 749 |
| Glosario | 750 |
| Bibliografía | 752 |
| Lecturas adicionales | 753 |
| Actividades | 754 |
| Preguntas de opción múltiple | 754 |
| Falso o verdadero | 755 |
| Rotule el diagrama 1 | 755 |
| Rotule el diagrama 2 | 756 |
| Búsqueda de palabras | 757 |
| Crucigrama | 758 |
| Llene los espacios | 760 |
| Para profundizar | 760 |
| Observe los diagramas | 760 |
| Ponga a prueba su aprendizaje | 761 |
| Afecciones | 761 |
| Capítulo 15. Sistema endocrino | 763 |
| Mapa del cuerpo | 765 |
| Introducción | 766 |
| Órganos endocrinos | 768 |

| | |
|---|-----|
| Hormonas | 772 |
| Transporte de hormonas | 773 |
| Efectos de las hormonas | 774 |
| Control de la liberación de hormonas | 774 |
| Destrucción y eliminación de hormonas | 775 |
| Fisiología de los órganos endocrinos | 777 |
| Hipotálamo e hipófisis | 777 |
| Hormonas liberadas por la adenohipófisis | 779 |
| Somatotropina | 780 |
| Efectos | 780 |
| Regulación | 780 |
| Prolactina | 780 |
| Efectos | 780 |
| Regulación | 780 |
| Hormona luteinizante (LH) y hormona folículo estimulante (FSH) | 781 |
| Efectos | 781 |
| Regulación | 781 |
| Tirotropina | 781 |
| Efectos | 781 |
| Regulación | 781 |
| Corticotropina | 781 |
| Efectos | 781 |
| Regulación | 782 |
| Glándula tiroides | 783 |
| Paratiroides | 789 |
| Glándulas suprarrenales | 791 |
| Médula suprarrenal | 792 |
| Corteza suprarrenal | 793 |
| Mineralocorticoides | 795 |
| Glucocorticoides | 798 |
| Páncreas | 801 |
| Insulina | 802 |
| Glucagón | 805 |
| Somatostatina | 806 |
| Conclusión | 807 |
| Glosario | 808 |
| Bibliografía | 810 |
| Lecturas adicionales | 812 |

| | |
|---|------------|
| Actividades | 813 |
| Preguntas de opción múltiple | 813 |
| Falso o verdadero | 814 |
| Rotule el diagrama 1 | 814 |
| Rotule el diagrama 2 | 815 |
| Rotule el diagrama 3 | 816 |
| Búsqueda de palabras | 817 |
| Llene los espacios | 818 |
| Para profundizar | 818 |
| Afecciones | 819 |
| Capítulo 16. Sistema inmunitario | 820 |
| Mapa del cuerpo | 822 |
| Introducción | 823 |
| Desarrollo de los glóbulos sanguíneos | 824 |
| Órganos del sistema inmunitario | 827 |
| Timo | 827 |
| Sistema linfático | 828 |
| Ganglios linfáticos | 830 |
| Tejido linfático | 834 |
| Bazo | 834 |
| Tipos de inmunidad | 835 |
| Sistema inmunitario innato | 835 |
| Barreras físicas | 835 |
| Barreras mecánicas | 835 |
| Barreras químicas | 836 |
| Glóbulos sanguíneos | 836 |
| Glóbulos sanguíneos del sistema inmunitario | 836 |
| Fagocitosis | 837 |
| Citotoxicidad | 840 |
| Inflamación | 840 |
| Sistema inmunitario adquirido | 848 |
| Inmunidad celular (linfocitos T) | 848 |
| Citotoxicidad (destrucción celular) | 849 |
| Control del sistema inmunitario | 849 |
| Memoria | 849 |
| Inmunidad humoral (linfocitos B) | 852 |
| Inmunoglobulinas (anticuerpos) | 854 |
| Inmunoglobulina G | 854 |

| | |
|--|------------|
| Inmunoglobulina A | 854 |
| Inmunoglobulina M | 855 |
| Inmunoglobulina E | 855 |
| Inmunoglobulina D | 856 |
| Función de las inmunoglobulinas | 856 |
| Células citolíticas naturales | 861 |
| Respuesta primaria y secundaria a la infección | 862 |
| Inmunorrespuesta primaria | 862 |
| Inmunorrespuesta secundaria | 864 |
| Inmunizaciones | 865 |
| Inmunización pasiva | 865 |
| Inmunidad activa | 865 |
| Conclusión | 866 |
| Glosario | 867 |
| Bibliografía | 870 |
| Lecturas adicionales | 871 |
| Actividades | 872 |
| Preguntas de opción múltiple | 872 |
| Falso o verdadero | 873 |
| Rotule el diagrama | 873 |
| Llene los espacios | 874 |
| Búsqueda de palabras | 874 |
| Para profundizar | 875 |
| Afecciones | 876 |
| Capítulo 17. Piel | 877 |
| Mapa del cuerpo | 879 |
| Introducción | 880 |
| Estructura de la piel | 882 |
| Epidermis | 883 |
| Queratinocitos | 884 |
| Melanocitos | 884 |
| Células de Langerhans | 885 |
| Células de Merkel | 885 |
| Capas de la epidermis | 885 |
| Estrato basal | 887 |
| Estrato espinoso | 888 |
| Estrato granuloso | 888 |
| Estrato lúcido | 888 |

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Estrato córneo | 888 |
| Dermis | 890 |
| Estratos papilar y reticular | 891 |
| Estructuras accesorias de la piel | 892 |
| Pelo | 892 |
| Glándulas cutáneas | 894 |
| Glándulas ecrinas | 894 |
| Glándulas apocrinas | 895 |
| Uñas | 895 |
| Funciones de la piel | 898 |
| Sensación | 898 |
| Termorregulación | 899 |
| Protección | 900 |
| Excreción y absorción | 901 |
| Síntesis de vitamina D | 902 |
| Conclusión | 903 |
| Glosario | 904 |
| Bibliografía | 906 |
| Lecturas adicionales | 907 |
| Actividades | 908 |
| Preguntas de opción múltiple | 908 |
| Verdadero o falso | 909 |
| Rotule el diagrama 1 | 909 |
| Rotule el diagrama 2 | 910 |
| Búsqueda de palabras | 911 |
| Llene los espacios | 912 |
| Para profundizar | 913 |
| Afecciones | 913 |
| Valores normales | 914 |