

14

El aparato digestivo

Temas principales

- Los nutrientes son los carbohidratos, los lípidos, las proteínas, las vitaminas, los minerales y el agua.
- La energía se extrae de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas. Las vitaminas, los minerales y el agua facilitan las reacciones de producción de energía.
- El objetivo de la digestión es romper las moléculas grandes de nutrientes no absorbibles en moléculas más pequeñas y absorbibles.
- La digestión es un proceso secuencial con múltiples etapas en que intervienen acciones mecánicas y químicas.
- La digestión se produce en el tracto gastrointestinal.
- El hígado y el páncreas ayudan a la digestión mediante la adición de secreciones en el tracto intestinal, pero también tienen funciones no digestivas.

Objetivos del capítulo

Nutrientes 539

1. Describir los componentes de una dieta saludable y explicar cómo utiliza el cuerpo los diferentes tipos de nutrientes.

Descripción general del aparato digestivo 549

2. Identificar las partes del aparato digestivo en un esquema, diferenciando entre el tracto digestivo y los órganos accesorios.

3. Explicar la relación estructural entre los distintos órganos intestinales y el peritoneo.
4. Enumerar cuatro capas de la pared del tracto digestivo y seis funciones del aparato digestivo.

Boca y estructuras asociadas 555

5. Identificar en los esquemas las partes de la boca y los dientes.

Faringe y esófago 558

6. Indicar las partes de la faringe en el orden en el que reciben los alimentos y enumerar los distintos pasos de la deglución.

Estómago 560

Indicar las partes del estómago y de la pared de éste en los esquemas.

Comentar de qué forma las diferentes secreciones gástricas digieren las proteínas sin digerir las proteínas de los tejidos de la pared del estómago.

Intestino delgado, hígado y páncreas 565

Indicar en los esquemas las partes del intestino delgado y de la pared intestinal.

Indicar las partes del páncreas y el hígado en los esquemas y resumir las contribuciones de cada uno en la digestión.

Describir el flujo de linfa, bilis y sangre conforme cada uno de ellos entra, pasa a través de y/o sale del hígado.

12. Utilizar esquemas para explicar la digestión y absorción de carbohidratos, grasas y proteínas.

Intestino grueso 576

13. Indicar en los esquemas las partes del intestino grueso y de la pared del colon.

14. Describir cuatro funciones de las bacterias del colon.

Regulación de la función gastrointestinal 579

15. Explicar la regulación en las fases cefálica, gástrica e intestinal de la digestión.

Intolerancia a la lactosa: el caso de Margot C. 582

16. Utilizar el caso práctico para explicar por qué una deficiencia de enzimas específicas del borde en cepillo produce diarrea y gases intestinales.

Caso práctico: «Ya no puedo tomar más estas pastillas»

Mientras lee el siguiente caso práctico, haga una lista de los términos y conceptos que debe aprender para comprender el caso de Margot.

Anamnesis: Margot C. era una estudiante universitaria de 19 años de edad con un historial de cambios de humor y un diagnóstico médico de trastorno bipolar (también trastorno maniaco-depresivo). Durante el semestre, se quedó sin su medicación y acudió a la clínica del campus. Allí, el médico pudo convencerla para que tomase un medicamento sustituto porque no tenía a mano su receta habitual.

Margot regresó a la clínica al día siguiente diciendo que «las pastillas nuevas me molestan en el estómago». El médico le instó a continuar con el medicamento, diciéndole que «tu organismo se acostumbrará a las pastillas». Volvió de nuevo 2 días más tarde diciendo: «ya no puedo tomar más estas pastillas. Me dan diarrea y gases». Al pedirle más información dijo: «esto me recuerda el problema que solía tener con la leche y otros productos lácteos. Le dijeron a mi madre que yo tenía intolerancia a la lactosa, así que crecí bebiendo leche de soja. Cuando era adolescente solía tomar escondidas pizza o un helado, pero siempre con el mismo resultado, diarrea y gas, así que ahora evito totalmente los productos lácteos».

Exploración física y otros datos: las constantes vitales y los datos de laboratorio eran normales. En la exploración física, el abdomen de Margot estaba blando y no doloroso, pero ella pidió: «¡Por favor, no apriete demasiado fuerte! Estoy llena de gas y tengo que ir al baño». No se observó ningún otro hallazgo destacable.

Evolución clínica: el médico le extendió una receta para su medicina habitual y le pidió que volviese en 1 semana. Cuando regresó, dijo que los síntomas intestinales habían desaparecido por completo. Intrigado por la clara asociación de los síntomas intestinales con el medicamento sustituto, el médico hizo una investigación en Internet, y no pudo encontrar síntomas intestinales entre los efectos adversos reconocidos. Justo cuando estaba a punto de cerrar la sesión se dio cuenta del aviso de la sección de información «Cada cápsula contiene» de la página web del laboratorio del medicamento. A continuación de la lista del



Conocimientos necesarios

Antes de adentrarse por primera vez en este capítulo, es importante comprender los siguientes términos y conceptos.

- Estructura de los carbohidratos, los lípidos y las proteínas ← (cap. 2)
- Hormonas, receptores, estructura de las neuronas ← (cap. 4)
- Redes nerviosas ← (cap. 8)

ingrediente activo del medicamento se encontraba una lista de «ingredientes inactivos» que incluía esta entrada: «excipiente de lactosa»:

Seguro de que había encontrado el problema de Margot, el médico la llamó y le dijo que no toleraba la lactosa, el carbohidrato que se encuentra en los productos lácteos. Además, le habló de que en la facultad de medicina de la universidad se estaba llevando a cabo un estudio de investigación sobre la intolerancia a la lactosa y le comentó que podían pagarle una compensación por su participación. Margot aceptó participar y tomar una de las pastillas problemáticas como parte del estudio. En primer lugar, le dieron una bebida estándar de leche, después de lo cual determinaron el azúcar en su sangre y la cantidad de gas hidrógeno en el aire espirado. La prueba producía los síntomas esperados: la glucosa sanguínea de Margot no aumentaba significativamente y aparecía hidrógeno en el aire espirado. En la siguiente visita, se le dio una de las cápsulas, lo que produjo un resultado similar.

Estamos inundados por un mar de alimentos y de información alimentaria. Abundan los supermercados, restaurantes, cafés y tiendas de autoservicio. Incluso las estaciones de servicio de las gasolineras ofrecen más combustible para los humanos que para los automóviles: entrar para pagar la factura es enfrentarse a mostradores de paquetes coloridos que contienen alimentos de una variedad asombrosa. Además, estamos constantemente bombardeados con información sobre los alimentos: en las historias de las noticias, en la televisión, en los gimnasios, y así sucesivamente. ¡Incluso algunas iglesias norteamericanas han comenzado a ofrecer programas sobre alimentación saludable!

Y sin embargo, a pesar de todo lo que sabemos sobre cómo saben las comidas y las formas de prepararlas, la mayoría de la gente sabe muy poco de lo que le sucede a la misma desde el momento en que entra por un extremo y los residuos salen por el otro. Esta secuencia de acontecimientos, que nos permite recolectar la energía y los nutrientes de los alimentos, se conoce con más frecuencia como **digestión**. Sin embargo, en fisiología, el término tiene un significado más restringido: la digestión es la acción mecánica y química que descompone los alimentos en las moléculas que los componen. Esta acción continúa con dos procesos relacionados: la absorción de nutrientes hacia la sangre y la eliminación de los desechos.

Comenzamos este capítulo con la descripción de los propios nutrientes. Posteriormente analizaremos la digestión, absorción y eliminación. Durante nuestro estudio, también exploraremos las relaciones entre forma y función y las actividades integradas superpuestas de control neuronal y endocrino de los procesos digestivos.

«Dime lo que comes y te diré lo que eres»

Anthelme Brillat-Savarin (1755-1826), *La fisiología del gusto*, 1825

Nutrientes

Nutriente es cualquier sustancia química de los alimentos o bebidas que el organismo necesita para vivir o crecer. Entre ellos se incluye el *agua*, esencial para que se den las reacciones químicas que mantienen la vida y una parte de nuestra dieta diaria. Tres moléculas orgánicas: *carbohidratos*, los *lípidos* y las *proteínas*, se consideran también nutrientes. Se denominan **macronutrientes**, que tenemos que consumirlos en grandes cantidades y proporcionan la energía y las materias primas para la construcción de células, tejidos y órganos. Además de estas tres, hay dos clases finales de nutrientes: las *vitaminas* y las *minerales*, que se denominan **micronutrientes** porque consumimos en cantidades mínimas. Más adelante veremos cada una de las seis clases de nutrientes separadas.

Los nutrientes que comemos: aparte de la pequeña cantidad de moléculas restantes desde nuestro cuerpo de recién nacido, nos construimos a partir de los nutrientes ingeridos. Por ejemplo, recuerde del capítulo 3 que nuestras membranas celulares contienen elementos de cada uno de los grupos de nutrientes principales: los fosfolípidos y el colesterol son lípidos; los canales iónicos y los receptores están formados por proteínas, y los carbohidratos son el elemento clave de las glucoproteínas de la membrana. Los huesos están formados por colágeno (una proteína) y el calcio (un mineral), y el hígado y los músculos almacenan grandes cantidades de glucógeno (un carbohidrato). Es importante entender que *la forma de los nutrientes ingeridos no impone la forma del producto final*. Es decir, los carbohidratos ingeridos pueden ser quemados para liberar energía inmediata o descompuestos en sus componentes y volver a montarse como parte de nuevos carbohidratos o lípidos.

La energía que obtenemos de los alimentos se mide en *calorías*, un término del que existen varias versiones. Una *kilocaloría*, o *caloría «grande»*, es 1000 veces mayor que la *caloría «pequeña»*. Una *caloría grande* (a menudo escrito con C mayúscula) es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 kg de agua en 1 °C. En Estados Unidos y otros muchos países, las etiquetas de los alimentos expresan el contenido calórico en *calorías grandes*. Por esta razón a menudo se les llama *calorías grandes*. En este libro, cuando utilizemos la *caloría grande* haremos referencia a la *caloría grande* y usaremos mayúsculas.

Las plantas suministran la mayor parte de los carbohidratos de la dieta

Los carbohidratos proporcionan energía a corto plazo para la mayoría de las células del cuerpo y también se añaden a las proteínas y los lípidos. Recuerde del capítulo 2 que el *monosacárido* describe los carbohidratos, con el prefijo mono-, di- o poli-, que especifica el número de azúcares que componen la molécula (fig. 14-1, arriba). El objetivo final de la digestión de los carbohidratos es descomponer los

sacáridos grandes en los monosacáridos que los componen. Las fuentes naturales de carbohidratos son las siguientes:

- Los cereales, legumbres (guisantes, judías y lentejas) y numerosas verduras, que contienen almidón (un polisacárido).
- Las frutas, que contienen fructosa (un monosacárido). La fructosa se encuentra también en jarabes comerciales, como el jarabe de maíz rico en fructosa que se utiliza para endulzar refrescos y muchos otros productos.
- El azúcar de mesa, que contiene sacarosa (un disacárido de glucosa y fructosa) y se extrae de la remolacha azucarera o de la caña de azúcar.
- Los productos lácteos, que contienen lactosa (un disacárido de glucosa y galactosa).

Muchos productos vegetales también contienen **fibra dietética** (polisacáridos no digeribles como la *celulosa*). La fibra no es digerible por los humanos porque carecemos de las enzimas necesarias para descomponer la celulosa en sus unidades de glucosa, que puede ser absorbida. En su lugar, la fibra permanece como un polisacárido en el tracto digestivo y agrega volumen a las heces mediante la retención de agua. La fibra también une grasas intestinales, evitando que sean absorbidas. El volumen que crea la fibra también da una sensación de saciedad, lo que reduce el hambre.

Apuntes sobre el caso

14-1 Margot tiene problemas con la lactosa.
¿Cuántos azúcares forman una molécula de lactosa?

Las proteínas proporcionan los aminoácidos

El tracto digestivo descompone las proteínas de la dieta en *aminoácidos*, que son utilizados por las células del cuerpo para construir las proteínas que necesitan (fig. 14-1, centro). Las proteínas proporcionan componentes estructurales para los músculos, los tendones, los huesos y la piel; también tienen funciones como enzimas, receptores, de transporte y hormonas. Los aminoácidos además pueden utilizarse para producir energía, pero el grupo amino ha de ser retirado y convertido en un compuesto nitrogenado, como la urea, que pueda ser excretada en la orina. Sólo cuando está privado de carbohidratos y grasas, el cuerpo descompone las proteínas de los tejidos para liberar aminoácidos. La dieta occidental contiene abundantes aminoácidos para formar todas las proteínas necesarias y proporcionar además alrededor del 10% al 15% de las necesidades energéticas del cuerpo.

Las proteínas humanas se forman a partir de combinaciones específicas de 20 aminoácidos diferentes. De ellos, nueve, llamados **aminoácidos esenciales** (AAE), deben obtenerse de la dieta, ya que el hígado no puede sintetizarlos. Las proteínas de la carne, el pescado, la leche y los huevos se llaman *proteínas completas* porque contienen to-

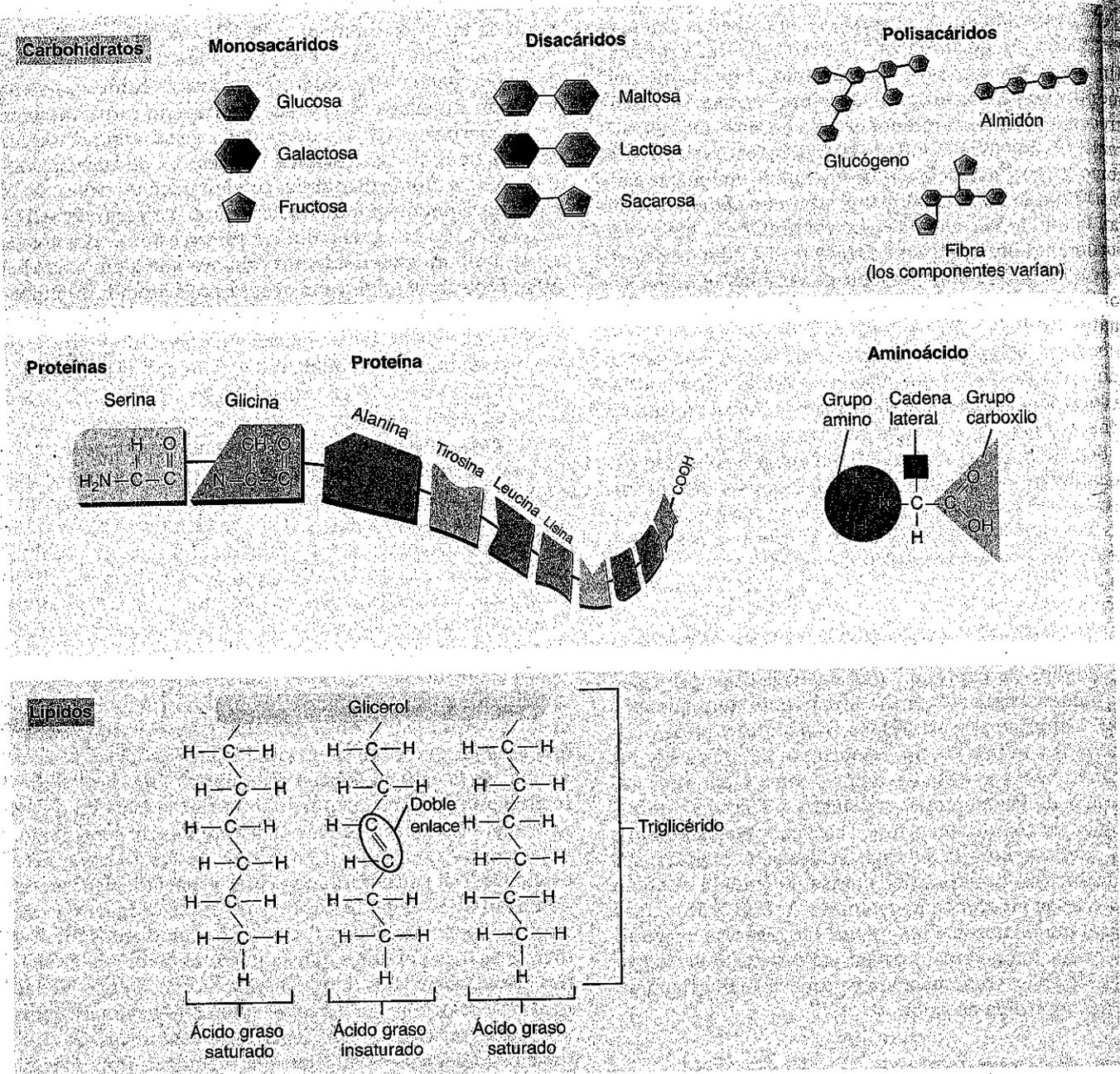


Figura 14-1. Macronutrientes. Los carbohidratos, las proteínas y los lípidos son las tres clases de nutrientes que proporcionan energía. Los triglicéridos son los lípidos más abundantes en nuestra dieta. Indicar los dos monosacáridos que componen la sacarosa.

dos los AAE. Con excepción de la soja y algunos cereales integrales (como la quinua), las proteínas procedentes de los vegetales no son completas, pero muchos alimentos vegetales se complementan entre sí con los aminoácidos que proporcionan. Por ejemplo, el arroz y las judías, una comida vegetariana tradicional, ofrecen una gama completa de aminoácidos, al igual que un sándwich de mantequilla de cacahuete. Por lo tanto, las dietas vegetarianas bien planificadas contienen la variedad suficiente para proporcionar todos los AAE.

En los animales de experimentación puede provocarse la deficiencia de un único AAE, pero se desconoce si los humanos sufren alguna enfermedad debido a la falta de AAE. Sin embargo, los efectos de las deficiencias de proteínas son claros. Si la dieta contiene calorías de los carbohidratos pero sigue siendo muy baja en proteínas, como en las zonas extremadamente pobres donde no hay carne, judías y otras proteínas de alta calidad, se desarrolla un tipo de desnutrición conocida como *kwashiorkor* (de una de las lenguas Kwa de la costa de Ghana, en África occiden-

Debido a la falta de proteínas, la mucosa intestinal se atrofia, lo que dificulta la absorción de nutrientes. Además, el hígado no puede sintetizar albúmina y otras proteínas de la sangre. Recuerde del capítulo 11 que la albúmina proporciona la mayor parte de la presión osmótica de la sangre, que actúa para retener el agua en los capilares sanguíneos y evitar su movimiento hacia el espacio intersticial (fig. 11-15 B). La deficiencia de albúmina aumenta la cantidad de líquido intersticial, que produce un abombamiento abdominal y una apariencia general hinchada que puede camuflar la desnutrición subyacente. La falta de proteínas también hace que la persona, generalmente niños, sea más vulnerable a las enfermedades infecciosas.

Cuando la dieta pobre en proteínas también es deficiente en calorías, el paciente desarrolla *marasmo*. Ésta es una forma más grave de desnutrición que se caracteriza por demacración y delgadez esquelética conforme se consumen las reservas de grasa y los tejidos musculares, así como retraso del crecimiento, ya que toda la energía se utiliza exclusivamente para mantener vivas las células del cuerpo. Los niños con marasmo también tienen un aspecto envejecido y arrugado debido a que sus cuerpos se marchitan hasta el punto de que su piel ya no «ajusta».

Los lípidos son nutrientes importantes

Recuerde del capítulo 2 que hay tres tipos principales de lípidos: triglicéridos (habitualmente denominados grasas), fosfolípidos y esteroides (colesterol y otros). Los triglicéridos son una fuente importante de energía, y los fosfolípidos y los esteroides actúan como elementos estructurales de las membranas celulares. Algunos esteroides actúan como hormonas (p. ej., cortisol y testosterona) y ciertos componentes de los triglicéridos actúan en las vías de transducción de señales. La grasa de la dieta también transporta las vitaminas liposolubles A, D, E, y K (véase más adelante) en el cuerpo. Finalmente, las reservas corporales de lípidos (tejido graso) sirven para proteger el cuerpo, amortiguando los traumatismos, y proporcionar aislamiento contra la pérdida de calor.

Las grasas insaturadas son más saludables

La gran mayoría de los lípidos de la dieta son triglicéridos (fig. 14-1, abajo). Hay que recordar que las moléculas de triglicéridos están formadas por una base de glicerol a la que se unen tres ácidos grasos. Cada ácido graso es una cadena de átomos de carbono unidos a hidrógeno. Los ácidos grasos de las **grasas saturadas** contienen átomos de carbono unidos por enlaces sencillos, de la siguiente forma: $-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-$. Cada átomo de carbono puede formar cuatro enlaces, y en este caso dos están en conexión con los carbonos adyacentes, lo que deja espacio sólo para dos átomos de hidrógeno. Por tanto, cada átomo de carbono se *satura* con los átomos de hidrógeno y no pueden añadirse más. Los ácidos grasos saturados son cadenas lineales que pueden empaquetarse herméticamente unas contra las otras, lo que

los hace densos y sólidos a temperatura ambiente. La mayoría de las grasas animales, incluida la manteca, son principalmente grasas saturadas, al igual que el aceite de coco y de palma. Una dieta rica en grasas saturadas se ha asociado a un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular.

En ciertas moléculas de ácidos grasos, algunos de los átomos de hidrógeno están ausentes; los de carbono tienen sólo un átomo de hidrógeno y están conectados con el carbono siguiente por un doble enlace, por ejemplo: $-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-$. Las grasas que contienen estos ácidos grasos se denominan **grasas insaturadas**, ya que algunos de los átomos de carbono pueden aceptar más átomos de hidrógeno. Las *grasas monoinsaturadas* tienen un doble enlace en sus cadenas de ácidos grasos y las *grasas poliinsaturadas* tienen más de un doble enlace. En el punto de la cadena donde se producen estos dobles enlaces, la molécula de ácido graso se pliega. Como consecuencia, las moléculas de grasa insaturada no pueden empaquetarse apretadas, son menos densas y, por tanto, líquidas a temperatura ambiente. El aceite de colza, la mayoría de los aceites de frutos secos y de semillas y el aceite de oliva se componen sobre todo de ácidos grasos monoinsaturados. Los aceites de girasol, maíz, soja y pescado son principalmente poliinsaturados. Las dietas en las que las grasas predominantes son insaturadas se asocian a un menor riesgo de enfermedad cardiovascular.

Un grupo de ácidos grasos poliinsaturados que han recibido una gran atención en los últimos tiempos son los **ácidos grasos esenciales**. También se conocen como *ácidos grasos ω* porque su primer doble enlace se localiza hacia el final de la cadena (*omega* es la última letra del alfabeto griego). El organismo puede sintetizar la mayoría de los ácidos grasos a partir de los componentes de otras moléculas, pero esto no es así en el caso de los ácidos grasos esenciales: su estructura molecular especial exige que se obtengan de la dieta. Los aceites de pescado, marisco y de ciertas plantas, semillas y frutos secos son buenas fuentes dietéticas. Las personas que siguen una dieta rica en ácidos grasos esenciales tienen menor riesgo de enfermedad cardiovascular que las personas que no lo hacen. El cuerpo utiliza los ácidos grasos ω para sintetizar diversos compuestos biológicos esenciales que regulan la inflamación, coagulación de la sangre y otras funciones importantes.

Las grasas insaturadas son baratas y relativamente sanas, pero se descomponen con rapidez y son difíciles de transportar, ya que son líquidas. Como consecuencia, la industria alimentaria ha convertido desde hace décadas las grasas insaturadas en grasas saturadas mediante la adición de hidrógeno, que evita que la grasa se ponga rancia. Estas grasas se llaman *grasas hidrogenadas* o *grasas trans* (piense en ellas como grasas transformadas). Aunque esto ha permitido a la industria alimentaria proporcionar alimentos apetecibles y baratos, las grasas *trans* presentan graves riesgos para la salud. Alteran el control de la glucosa en sangre y provocan inflamación. Por esta razón, en 2006, la Food and Drug Administration (FDA) comenzó a exigir que en las etiquetas de todos los alimentos se identificase el contenido en ácidos grasos *trans* en la tabla de informa-

ción nutricional. Poco después de que entrase en vigor este requisito, muchos fabricantes de alimentos sustituyeron los ácidos grasos *trans* con más grasas saludables.

Aparte del tipo de grasa de la dieta, la cantidad también es importante, porque la grasa contiene 9 calorías por gramo, mientras que las proteínas y los carbohidratos sólo contienen 4. Es más fácil, por tanto, ingerir un exceso de calorías en forma de grasa.

Las grasas circulan en la sangre como lipoproteínas

A diferencia de las proteínas y los carbohidratos, las grasas no son solubles en la sangre. Los triglicéridos y el colesterol circulan en la sangre en grandes complejos de proteína-lípido llamados **lipoproteínas**. Cada lipoproteína está formada por un núcleo interno, compuesto por triglicéridos y/o colesterol, y una capa exterior, compuesta de fosfolípidos, colesterol y proteínas especializadas llamadas **apoproteínas**. Los tres componentes de la cubierta exterior son parcialmente hidrófilos e hidrófobos. Las partes hidrófobas de esas moléculas miran hacia el núcleo de lipoproteínas,

y las partes hidrófilas miran hacia afuera para interactuar con sangre. Así, los fosfolípidos y las proteínas hidrófilas convierten a las lipoproteínas en solubles en sangre.

Las proteínas son más densas que los lípidos, por lo que las lipoproteínas que contienen proporcionalmente más proteínas son más densas que las que contienen más lípidos. De acuerdo con su densidad molecular, las lipoproteínas se clasifican de la siguiente forma:

- Las **lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL, very low density lipoprotein)** son principalmente lípidos y tienen muy pocas proteínas. La mayoría de los lípidos son triglicéridos.
- Las **lipoproteínas de baja densidad (LDL, low-density lipoprotein)** son algo menos lipídicas y tienen más proteínas. La mayoría de los lípidos son el colesterol.
- Las **lipoproteínas de alta densidad (HDL, high-density lipoprotein)** tienen pocos lípidos y son en su mayoría proteínas. La mayoría de los lípidos son el colesterol.

Las **VLDL** son la forma principal de transporte de los triglicéridos desde el hígado al resto del cuerpo (fig. 14-2).

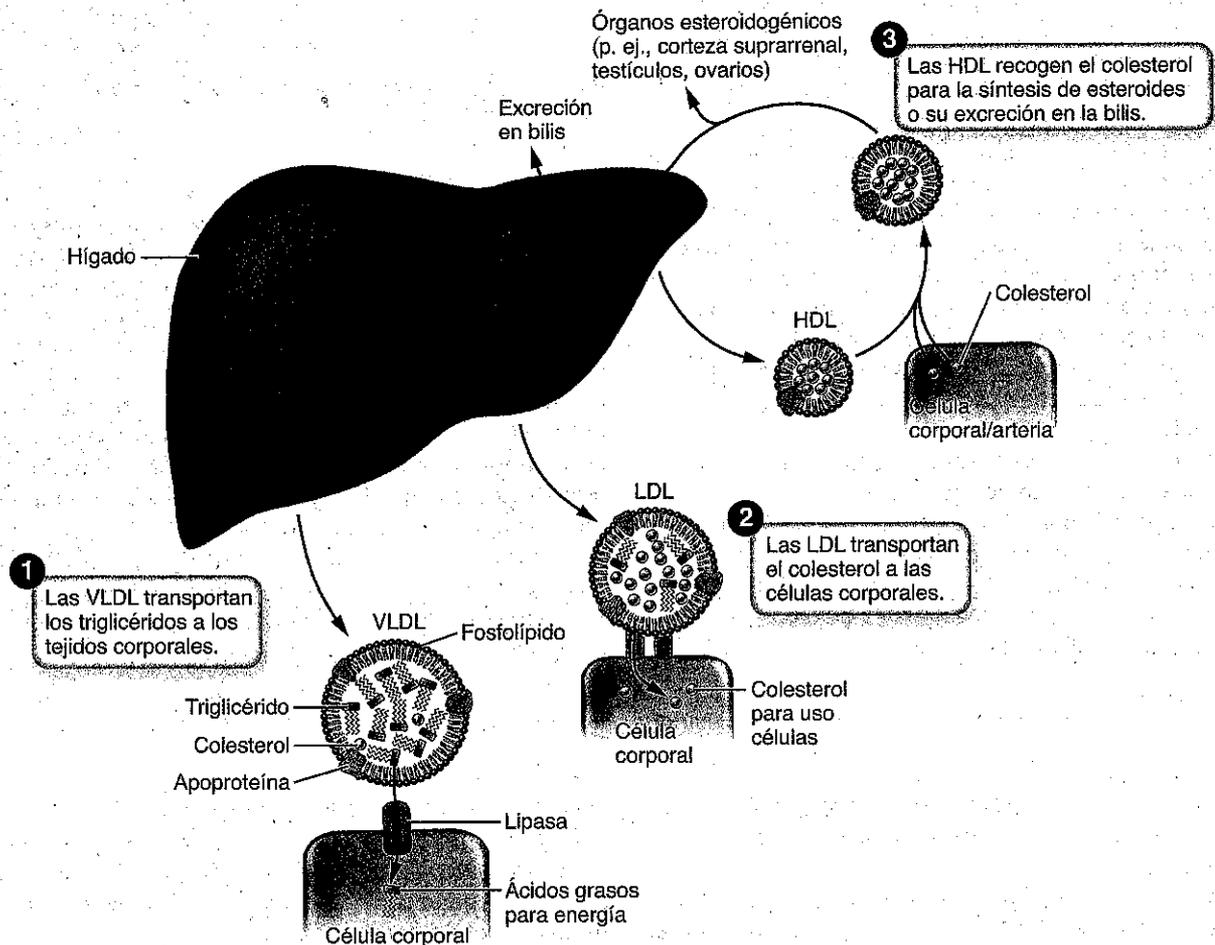


Figura 14-2. Lipoproteínas. Las lipoproteínas transportan los lípidos por la sangre. ¿Qué tipo de lipoproteína recoge el colesterol de las células?



INSTANTÁNEA CLÍNICA

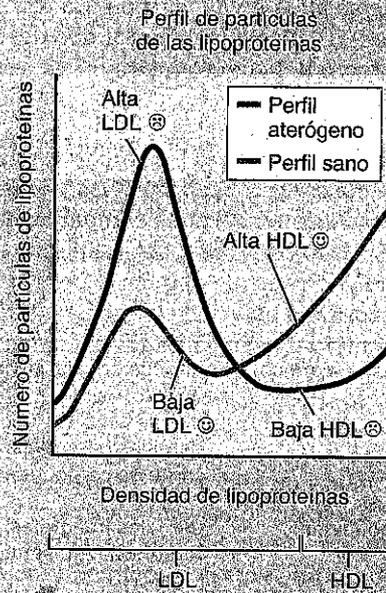
Concentraciones de lípidos en plasma deseables

En relación con las concentraciones de lípidos en plasma, el concepto de *normal* (cap. 1) es engañoso porque se basa en cálculos para determinar el *promedio* de colesterol de las personas presuntamente sanas. El problema es éste: las cifras medias de colesterol de muchas personas que se suponen sanas es poco saludable, sobre todo en los países occidentales desarrollados, a causa de las dietas ricas en grasas saturadas y *trans*. Así, *deseable* es un concepto mejor que *normal*.

Antes de la década de 1970, en Estados Unidos, lo que habitualmente se consideran concentraciones muy altas de colesterol se consideraban normales. Sin embargo, ahora se sabe que para tener una buena salud el colesterol total debe ser inferior a 200 mg/dl. Cuando se trata de colesterol total en plasma, más bajo es mejor; disminuir el total es beneficioso en casi cualquier nivel inicial de colesterol (cualquier punto de partida). Para ser específicos, *disminuir el colesterol total en 40 mg/dl reduce la prevalencia de complicaciones de la aterosclerosis a la mitad*, y la reducción de otros 40 mg/dl disminuye el riesgo otra vez a la mitad. Los datos indican que la aterosclerosis no puede desarrollarse con cifras de colesterol total inferiores a 150 mg/dl, un nivel inalcanzable para la mayoría de las culturas sin una dieta estrictamente vegetariana baja en grasas. Sin embargo, por muy útil que sea, la determinación del colesterol total es menos eficaz para predecir el riesgo cardiovascular que la determinación de las fracciones que lo componen: el colesterol unido a lipoproteínas de baja, alta y muy baja densidad.

Se considera *colesterol LDL* (c-LDL) deseable cuando es < 100 mg/dl. Al igual que con el colesterol total, menos es mejor.

El *colesterol HDL* (c-HDL) deseable cuando es > 60 mg/dl, una cifra que no se asocia con riesgo cardiovascular. Por otro lado, los valores < 40 mg/dl se asocian con un riesgo muy elevado de aterosclerosis. Las cifras bajas de c-HDL están en gran medida influidas por la genética y son mucho más difíciles de cambiar que el colesterol total y c-LDL, más influidos por la dieta. Sin



Perfiles lipídicos, que separan las partículas de lípidos por su densidad.

embargo, las cifras bajas de c-HDL pueden tratarse y el esfuerzo merece la pena: aumentar el c-HDL reduce el riesgo coronario. Dejar de fumar es especialmente eficaz en el aumento de c-HDL; esta es una de las razones por las que dejar de fumar es una estrategia muy eficaz para reducir el riesgo cardiovascular. El ejercicio y el consumo de cantidades moderadas de alcohol también son eficaces para aumentar el c-HDL (Consumo moderado de alcohol se define como no más de una bebida al día para las mujeres y una o dos bebidas por día para los hombres.)

En las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL) hay muy poco colesterol; por tanto, las cifras de VLDL tienen sólo una relación limitada con el riesgo cardiovascular aterosclerótico.

Los tejidos diana liberan ácidos grasos libres de las VLDL y los utilizan como energía o para almacenarlos para su uso posterior.

Las **LDL** son la forma de transporte principal para el colesterol. El *colesterol-LDL* (c-LDL) es el que se encuentra en las LDL. Las células que transportan el colesterol recogen los paquetes de LDL a partir de los receptores de LDL que se encuentran en la membrana celular. Por desgracia,

las LDL también se alojan en las paredes de los vasos sanguíneos de algunas personas y se acumulan allí como parte del proceso de la enfermedad cardiovascular. Al contribuir a la enfermedad cardiovascular, el c-LDL se conoce a menudo como colesterol «malo».

Las **HDL** viajan a través de la sangre y transportan colesterol que recogen de los revestimientos de arterias o células, y entregan su carga a ciertas glándulas, que sirve

para fabricar las hormonas esteroideas, o al hígado para su secreción en la bilis. Las HDL «mejoran la salud» arterial eliminando colesterol de los tejidos, por lo que el c-HDL suele conocerse como colesterol «bueno», a pesar de que la molécula de colesterol en las HDL y las LDL es la misma. Es decir, el destino del colesterol, no de su portador, dicta su función en la salud o la enfermedad; el c-LDL es el colesterol que se aloja en el cuerpo para diversos fines; sin embargo, el c-HDL es el colesterol de «desecho» que se dirige hacia fuera del cuerpo mediante la secreción en

la bilis. Véase el cuadro Instantánea clínica anterior titulado «Concentraciones de lípidos en plasma deseables». Para obtener más información sobre las cifras de colesterol en la sangre.

Las vitaminas son necesarias para una buena salud

Las vitaminas son tan importantes como los carbohidratos, las grasas y las proteínas para una buena salud. Se ha:

Tabla 14-1. Vitaminas

Nombre	Fuente dietética	Función
Vitaminas hidrosolubles		
Vitamina C (ácido ascórbico)	Cítricos, fresas, kiwis, melones, tomates, verduras de color verde	Promueve la síntesis de proteínas, favorece la cicatrización, actúa como antioxidante
Vitamina B ₁ (tiamina)	Cereales integrales, levadura, hígado, huevos, carne de cerdo, nueces	Coenzima en el catabolismo de los carbohidratos
Vitamina B ₂ (riboflavina)	Cereales integrales, levadura, carne, huevos, remolacha, guisantes, cacahuetes	Componente de coenzima
Niacina	Derivada del triptófano, un aminoácido esencial que se encuentra en cereales integrales, levadura, carne, pescado, guisantes, judías, nueces	Componente del NAD y de una coenzima en el metabolismo de los lípidos
Vitamina B ₆ (piridoxina)	Cereales integrales, levadura, salmón, yogur, tomate, maíz amarillo, espinacas	Coenzima en el metabolismo de los aminoácidos
Vitamina B ₁₂ (cianobalamina)	Hígado, riñón, leche, huevos, queso, carne; la absorción intestinal precisa el <i>factor intrínseco</i> , una proteína secretada por el estómago	Coenzima en la formación de eritrocitos y en el metabolismo de aminoácidos
Ácido pantoténico	Hígado, riñones, levadura, verduras	Componente de la coenzima A
Ácido fólico	Vegetales de hoja verde, brócoli, espárragos, judías, cítricos	Coenzima en la síntesis de ARN y ADN y la formación de células de la sangre
Biotina	Levadura, hígado, yema de huevo, riñones	Coenzima en el metabolismo del piruvato y la síntesis de ácidos grasos
Vitaminas liposolubles		
Vitamina A (retinol)	Producida a partir del caroteno, una provitamina que se encuentra en verduras naranjas, amarillas y de hoja verde oscuro	Función de las células epiteliales
Vitamina D	Aceites de pescado, yema de huevo, productos lácteos enriquecidos	Necesaria para la absorción intestinal de calcio
Vitamina E (tocoferol)	Nueces frescas, germen de trigo, aceites de semillas, vegetales de hoja verde	Participa en la síntesis de ácidos nucleicos y de eritrocitos; necesaria para la formación y mantenimiento del sistema nervioso; antioxidante
Vitamina K	Hígado, espinacas, coliflor, calabaza	Coenzima en la síntesis de factores de coagulación

Apuntes sobre el caso

14-2 La leche de soja que consume Margot está complementada con vitamina D. ¿La vitamina D es liposoluble o hidrosoluble, y qué hace?

Los minerales de la dieta son una necesidad

Es difícil dar una definición exacta de **mineral**, pero para nuestros propósitos, se considera un elemento *no orgánico* que puede formar un sólido cristalino. Los compuestos formados por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno no se consideran minerales ya que, por definición, son orgánicos.

Cerca del 4% del peso corporal está formado por siete **minerales principales**: calcio, fósforo, potasio, magnesio, azufre, sodio, cloro y magnesio. Alrededor de tres cuartas partes están constituidas por el calcio y el fósforo de los huesos. Sodio, potasio y cloro son fundamentales en la composición de los líquidos del cuerpo; el calcio y el magnesio son importantes en la contracción muscular; y el azufre está presente en diversos compuestos fisiológicos (tabla 14-2).

Otros minerales, los **oligoelementos**, están presentes en cantidades muy pequeñas y representan menos del 0,01% del peso corporal. Estos minerales incluyen el cromo, el cobre, el flúor, el yodo, el hierro, el manganeso, el selenio y el zinc. Algunos tienen funciones fundamentales y muy específicas; por ejemplo, el hierro es el componente esencial de la hemoglobina, que transporta oxígeno en la sangre; el flúor ayuda a mantener dientes y huesos sanos; el yodo es necesario para producir la hormona tiroidea, y el cromo, el manganeso, el selenio, el hierro, el cobre y el zinc son necesarios en diversas funciones metabólicas.

Los minerales se encuentran en la mayoría de los alimentos, con excepción de los cereales. El calcio y el fósforo, por ejemplo, son abundantes en los productos lácteos, mientras que la carne es rica en hierro y zinc (tabla 14-2).

Ciertas condiciones médicas pueden producir una deficiencia de minerales. Por ejemplo, las personas con diarrea crónica pueden perder grandes cantidades de sodio, lo que disminuye la concentración de sodio en la sangre, que da como resultado un volumen plasmático y una presión arterial bajos. A su vez, ésta produce fatiga, mareo y desmayo.

Sin embargo, en ocasiones la deficiencia se debe a una dieta carente de un mineral en particular. El hierro es un buen ejemplo. Al ser necesario para la síntesis de la hemoglobina (cap. 10), una dieta con carencia de hierro conduce a una deficiencia de hemoglobina (anemia). Las mujeres en edad fértil son particularmente vulnerables debido a que pierden hierro de forma regular durante la menstruación.

Las dietas vegetarianas, que excluyen la carne, las aves de corral, el pescado, los productos lácteos y los huevos, son cada vez más comunes y presentan beneficios bien documentados sobre la salud, incluyendo un menor riesgo de

capítulo 13: A, ocho vitaminas B, C, D, E y K. Al principio se organizaron alfabéticamente en función de su orden de descubrimiento, pero en la actualidad existen vacíos en la nomenclatura conforme se van acumulando conocimientos, y algunas sustancias se reasignan a otras categorías fisiológicas.

Una **vitamina** es una potente molécula *orgánica* pequeña (cap. 2) necesaria para una reacción metabólica en particular que debe obtenerse a partir de la dieta porque el organismo no puede sintetizarla (tabla 14-1). Las excepciones a esta regla son la vitamina D, que puede fabricarse en el cuerpo tras la exposición a la luz solar, y la vitamina K, que puede ser producida por las bacterias intestinales, aunque también está presente en la dieta. Además, algunas vitaminas ingeridas como precursores inactivos o *provitaminas*, son transformados por el cuerpo en la vitamina activa. Por ejemplo, la vitamina A (también conocida como retinol) se sintetiza a partir de la provitamina β -caroteno.

Las funciones fisiológicas de las vitaminas son variadas y numerosas. Por ejemplo, la vitamina C se conoce principalmente por su función en la protección de los tejidos conectivos del cuerpo, pero también funciona como un antioxidante y favorece la absorción de hierro. Las vitaminas B nos permiten utilizar los carbohidratos, las proteínas y las grasas en nuestra dieta mediante la participación en reacciones metabólicas como *coenzimas*, sustancias que promueven las funciones de las enzimas. Esta función de las vitaminas B se comenta con más detalle en el capítulo 15. Otras vitaminas actúan como hormonas y participan en la síntesis de ADN o tienen otras funciones (tabla 14-1).

Algunas vitaminas son solubles en agua, otras en grasa. Las vitaminas hidrosolubles (vitaminas del complejo B y vitamina C) pueden almacenarse en el cuerpo. Las deficiencias de vitaminas hidrosolubles se desarrollan rápidamente, porque cualquier exceso diario se excreta en la orina. Por el contrario, la deficiencia de vitaminas liposolubles (A, D, E y K) se desarrolla más lentamente, ya que pueden almacenarse en la grasa corporal. Por otro lado, ya que sólo pueden ser absorbidas por el cuerpo cuando están disueltas en la grasa de la dieta, todo lo que perjudique a la digestión de las grasas puede producir deficiencia de vitaminas liposolubles. Por ejemplo, algunas enfermedades pancreáticas reducen la producción de enzimas pancreáticas, que digieren la grasa de la dieta. Cuando se carece de estas enzimas, la grasa no digerida pasa a las heces y se lleva las vitaminas liposolubles con ella.

Debido a que el organismo almacena las vitaminas liposolubles, su consumo prolongado y excesivo puede conducir a una acumulación peligrosa. Por ejemplo, un exceso de vitamina D puede aumentar las concentraciones sanguíneas de calcio. El exceso de calcio pasa a la orina, donde puede formar cálculos en el tracto urinario.

La *ingesta dietética de referencia* de cada vitamina varía según la edad y el sexo. Las frutas y las verduras son las principales fuentes de vitaminas y algunas se encuentran exclusivamente en productos de origen animal o en cereales (tabla 14-1).

Tabla 14-2. Principales minerales y oligoelementos

Nombre	Fuente dietética	Función
Principales minerales		
Calcio	Productos lácteos, verduras de hoja verde, marisco, yema de huevo	Las sales de calcio forman los huesos y dientes; los iones de calcio están implicados en los potenciales de acción del corazón, la liberación de neurotransmisores, la contracción muscular y la transducción de señales
Fósforo	Todos los productos de origen animal, frutos secos, legumbres, cereales	Las sales de fosfato ayudan a la formación de huesos y dientes; componente de muchas moléculas biológicas grandes (p. ej., ATP, proteínas); equilibrio ácido-base
Sodio	Sal de mesa, alimentos enriquecidos en sal	Ayuda a mantener el equilibrio hídrico del cuerpo y la presión arterial; necesario para los potenciales de acción, la contracción muscular y el transporte activo de iones y otros nutrientes
Potasio	Muchos alimentos, especialmente aguacates, albaricoques secos y productos animales	Señalización eléctrica, síntesis de proteínas, mantenimiento de la presión osmótica intracelular
Cloro	Sal de mesa	Ayuda a mantener el equilibrio hídrico del cuerpo (junto con el sodio); equilibrio acidobásico
Azufre	Todos los productos de origen animal, legumbres	Componente de vitaminas, proteínas, tejido conectivo
Magnesio	Productos animales, cereales integrales, nueces, legumbres, verduras de hoja verde	Componente de coenzimas; necesario para la contracción muscular
Oligoelementos		
Cromo	Productos de origen animal, cereales integrales, vino	Necesario para el metabolismo de la glucosa
Cobre	Marisco, cereales integrales, legumbres, carne	Necesario para la síntesis de la hemoglobina, melanina, mielina y algunas enzimas
Flúor	Agua fluorada	Puede prevenir la caries dental y la osteoporosis
Yodo	Marisco, sal yodada	Componente de la hormona tiroidea
Hierro	Hígado, carne, yema de huevo, legumbres	Parte de la hemoglobina y de las enzimas mitocondriales
Manganeso	Nueces, legumbres, cereales integrales, vegetales de hojas verdes	Participa en muchas reacciones metabólicas
Selenio	Mariscos, carne	Antioxidante
Zinc	Mariscos, carne, legumbres	Componente de las enzimas y proteínas estructurales

enfermedad cardiovascular y de diabetes de tipo 2. Sin embargo, puesto que los productos de origen animal son excelentes fuentes de calcio, zinc y hierro, los vegetarianos deben planificar su dieta con cuidado. También tienen que vigilar que su dieta ofrezca el contenido adecuado de vitaminas D y B₁₂, proteínas y ácidos grasos ω.

Apuntes sobre el caso

14-3 La leche de soja natural contiene hierro, calcio, zinc, riboflavina y sodio. ¿Cuál de estas sustancias son minerales y cuáles vitaminas?

El agua es el nutriente más importante

Hay magia en este planeta, la magia contenida en el agua

En Eiseley (1907-1977), antropólogo, educador y escritor de ciencias naturales estadounidense, *El viaje inmenso*, 1957

El agua es la materia y la matriz de la vida: es la molécula más común en todas las formas de vida, y todos los procesos esenciales de la vida se desarrollan dentro de ella. Alrededor del 60 % del peso corporal de un adulto es agua: es el componente principal de todas las células y del líquido intracelular; forma la mayor parte de nuestra sangre, linfa, fluido cefalorraquídeo, orina y gran parte de nuestras heces. Se encuentra en los cartílagos y las articulaciones sinoviales, e incluso vemos el mundo a través de los ojos, que están llenos de un fluido acuoso. Podemos vivir durante semanas sin alimentos, pero sólo unos pocos días sin agua.

Recuerde del capítulo 2 que el agua es un solvente, un amortiguador, ofrece amortiguación a las células y tejidos y es un dissipador de calor capaz de contener grandes cantidades de calor sin aumentar mucho la temperatura. Y no olvidemos que es fundamental en el metabolismo; el agua y el dióxido de carbono son los productos finales de las reacciones del cuerpo que producen energía.

¿Cuánta agua necesitamos? La mayoría de los expertos coinciden en que los adultos necesitan entre 8 y 12 vasos de agua (alrededor de 2,5 l), aunque los requisitos varían en función del sexo, la edad, el nivel de actividad física, la temperatura ambiental y otros factores.

Una dieta saludable requiere atención

Los hábitos dietéticos varían de una cultura a otra y de una época a otra. Por ejemplo, la dieta vietnamita es baja en grasas y rica en fibra, con abundancia de cereales integrales y verduras frescas. Por el contrario, la dieta norteamericana es alta en grasas y baja en fibra, con cereales refinados y pocas verduras frescas. La dieta varía de una época a otra: mediados del siglo XIX, la dieta Graham, rica en fibra y sin carne, era la más habitual en Estados Unidos, mientras que en el pasado siglo XX predominaba una dieta rica en carne y baja en carbohidratos.

Los datos de estudios científicos que comparan la dieta y la salud en muchas culturas, como se resume en la pirámide de alimentación, sugieren las siguientes pautas para una buena salud (fig. 14-3):

1. **Controle su peso.** Igualar la entrada de calorías con la producción de energía debe ser la base de cualquier dieta. La obesidad es una situación tóxica que aumenta el riesgo de diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares y de hipertensión arterial. Aparte de dejar de fumar, la manera más eficaz para mejorar la salud a largo plazo es mantener un peso saludable.
2. **Haga ejercicio con regularidad.** El ejercicio regular, incluso un corto paseo diario, ayuda a evitar el exceso de

peso por el consumo de calorías, y además ofrece otros grandes dividendos: las personas que hacen ejercicio regularmente viven más, están más sanas y son más felices.

3. **Los carbohidratos están basados principalmente en los cereales integrales.** Estos cereales, como el pan integral, el arroz integral y la avena, no han sido refinados para despojarlos de sus fibras y, por lo tanto, se digieren y absorben con más lentitud que los cereales refinados como la harina blanca. El resultado es que no elevan las cifras de glucosa en sangre tan rápidamente o de forma tan importante como los carbohidratos refinados. Pero además, su contenido en fibra proporciona volumen, que es más eficaz para satisfacer el hambre que las «calorías vacías» de los carbohidratos refinados.
4. **Las grasas están basadas en aceites vegetales, frutos secos y pescado.** Mucha gente piensa que la grasa es mala, pero es una parte esencial de nuestra dieta diaria. El problema no es la grasa en sí, sino las grasas saturadas y *trans*. Una dieta sana sustituye estas grasas dañinas con aceites vegetales, frutos secos y pescado. El resultado es un c-LDL más bajo, un aumento de c-HDL y menor riesgo de enfermedad cardiovascular.
5. **Consumir cada día un «amplio abanico» de frutas y verduras.** Una dieta rica en verduras y frutas, que aportan vitaminas, minerales, fibra y sustancias químicas vegetales beneficiosas llamadas *fitoquímicos*, disminuye el riesgo de enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y la pérdida de visión asociada con la edad.
6. **Entre las proteínas, elegir pescado, aves de corral, huevos, nueces, semillas, judías y tofu.** Estos alimentos son buenas fuentes de proteína, ya que proporcionan grasas saludables, vitaminas y minerales. Algunos también proporcionan fibra. El tofu se elabora a partir de la soja y es una buena fuente de proteínas de alta calidad; también es bajo en grasas saturadas. Los huevos han tenido una mala reputación. A pesar de que contienen un poco de colesterol, el de la dieta es un factor menor en comparación con las cifras de colesterol en sangre. Con moderación, los huevos son una buena fuente de proteínas.
7. **Consumir suficiente calcio y vitamina D.** El calcio y la vitamina D son importantes para la salud ósea. Como aprendimos en el capítulo 5, las personas con piel oscura y las que no se exponen mucho al sol pueden no producir suficiente vitamina D natural para una buena salud ósea. Para ellos puede ser necesario un complemento de vitamina D. La leche enriquecida es una buena fuente de vitamina D y calcio, pero la leche normal contiene grasa saturada, por lo que es conveniente elegir leche desnatada o semidesnatada. Otras fuentes adecuadas de calcio son el queso y el yogur, determinados frutos secos, judías y vegetales de hoja oscura.
8. **Consumir carnes rojas, mantequilla, queso y leche entera con moderación debido a su alto contenido en grasas saturadas.** Las carnes rojas se promocionan a menudo como una valiosa fuente de hierro, mineral necesario para la producción de hemoglobina (cap. 10). Sin embargo, las aves de corral, el pescado, muchas legumbres y panes y cereales enriquecidos son ricos en hierro.

Otros alimentos también deben consumirse con moderación. La lista incluye cereales refinados (pan blanco, arroz blanco, pasteles, galletas), patatas (las batatas son mucho más saludables), dulces y bebidas azucaradas y azúcar de mesa. También es aconsejable añadir poca sal (cloruro sódico) a los alimentos, tanto como sea posible. Las dietas altas en sodio aumentan el riesgo de hipertensión arterial y la enfermedad cardiovascular asociada.

Los complementos multivitamínicos y minerales pueden completar los déficits ocasionales en cualquier dieta. Como se mencionó anteriormente, los complementos de vitamina D son beneficiosos para algunas personas. Un complemento de hierro puede ser conveniente para las mujeres en edad fértil, porque pierden hierro con cada período menstrual. Se recomiendan complementos de ácido fólico para todas las mujeres en edad fértil, ya que ayuda a prevenir un tipo de defecto de nacimiento que se desarrolla antes de que la mujer sepa que está embarazada. Por lo demás, los datos de las investigaciones no han demostrado beneficio alguno de los complementos de vitaminas o minerales individuales, a menos que se utilicen por prescripción médica.

El alcohol con moderación puede contribuir a una dieta saludable, sobre todo en personas de mediana edad. Los datos son claros: los estadounidenses que consumen alcohol con moderación tienen menos enfermedades cardiovasculares que aquellos que no lo hacen. Moderación significa no más de una bebida (una cerveza, una copa de vino, un cóctel) al día para las mujeres no embarazadas y una a dos bebidas al día para los hombres. Las mujeres embarazadas no deben consumir alcohol debido al riesgo de alteraciones en el feto.

Examen sorpresa

14-1 ¿Cuál de las siguientes sustancias se clasifica como nutriente?: agua, aminoácidos, oxígeno, lípidos, vitaminas, carbohidratos.

14-2 ¿Pueden los humanos digerir la fibra, el almidón o ambos?

14-3 Verdadero o falso: los ácidos grasos de las grasas saturadas contienen uno o más enlaces dobles entre los átomos de carbono.

14-4 ¿Qué tipo de lipoproteínas transportan el colesterol al hígado?

14-5 ¿Pueden los humanos fabricar aminoácidos esenciales?

14-6 ¿Cuál de las siguientes es una provitamina: el hierro, el β -caroteno o el retinol?

14-7 ¿Qué mineral es un componente estructural esencial de la hemoglobina?

14-8 ¿Qué lípidos son más saludables, los de la carne o los aceites vegetales?

Descripción general del aparato digestivo

Ahora que hemos aprendido acerca de lo que comemos, vamos a aprender lo que sucede cuando lo hacemos. La *digestión* descompone los alimentos en sus elementos moleculares, que a su vez son metabolizados para producir energía o para construir nuevas moléculas, orgánulos, células, tejidos y órganos. El *aparato digestivo* está formado por el *tracto gastrointestinal* más los *órganos accesorios*.

El tracto gastrointestinal y los órganos accesorios constituyen el sistema digestivo

El *tracto gastrointestinal* (GI) (también conocido como *tracto digestivo*) es una secuencia continua de órganos musculares tubulares que se extiende desde la boca hasta el ano, y son: la boca, la faringe, el esófago, el estómago, el

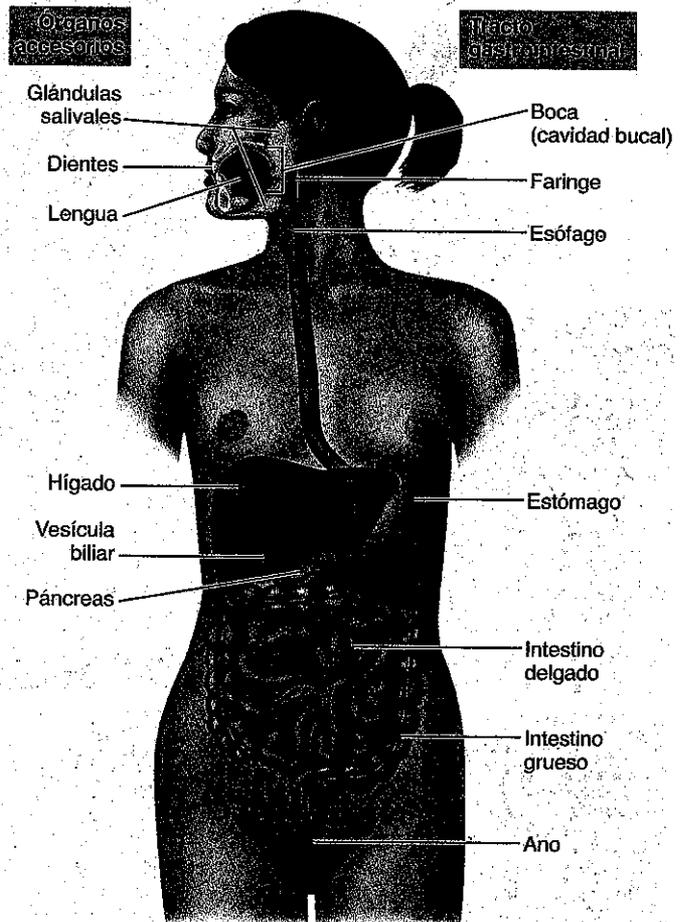
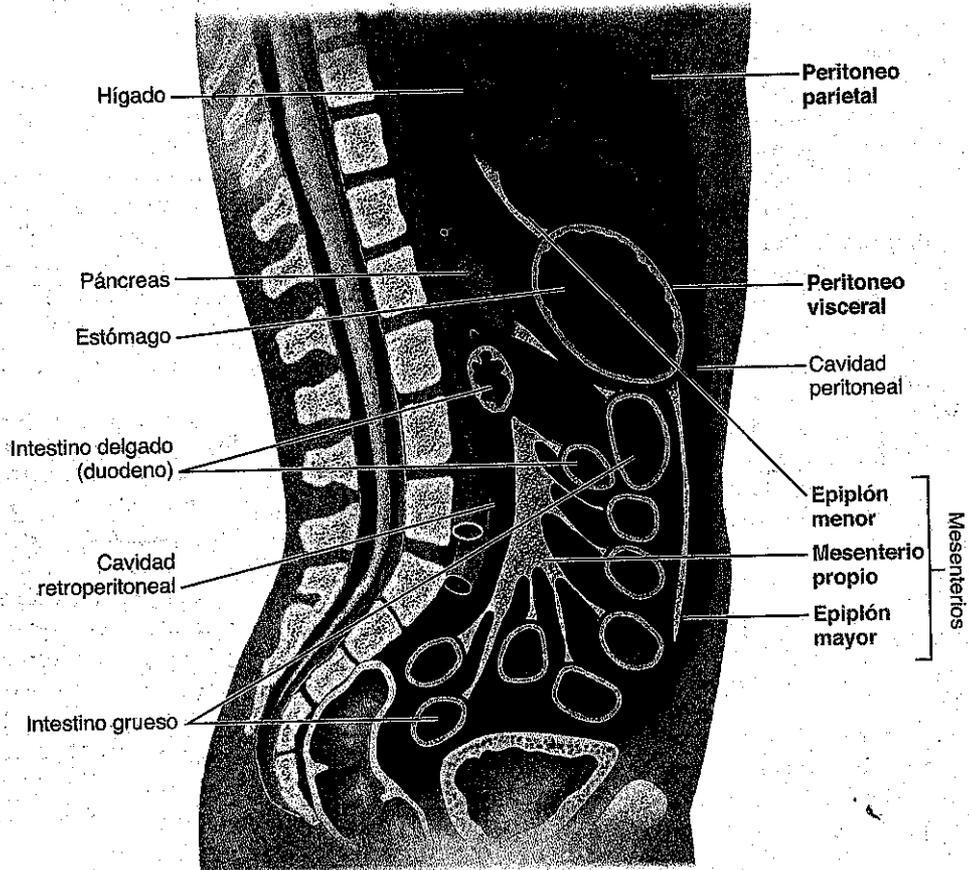


Figura 14-4. El aparato gastrointestinal, formado por el tracto gastrointestinal y los órganos accesorios. ¿Cuál de los siguientes es un órgano accesorio: la vesícula biliar o la faringe?

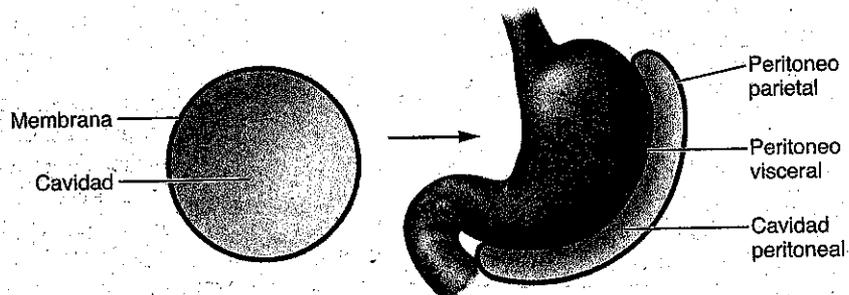
intestino delgado y el intestino grueso (fig. 14-4). Además, la digestión requiere la asistencia de los *órganos accesorios digestivos* que no necesariamente detectan alimentos, sino que proporcionan herramientas mecánicas o químicas. Estos órganos incluyen los dientes, la lengua, las glándulas salivales, el hígado, la vesícula biliar y el páncreas.

El hígado y el páncreas merecen una mención especial porque cada uno tiene una naturaleza dual, una función

digestiva y actividades no digestivas diversas que afectan a todo el organismo. Ambos secretan jugos gástricos en el tracto gastrointestinal. Sin embargo, el hígado también tiene funciones metabólicas esenciales y el páncreas una función glandular endocrina: sintetiza y secreta las hormonas que regulan el azúcar en la sangre. Las funciones no digestivas del hígado y el páncreas se detallan en el capítulo 15.



A Peritoneo



B Formación del peritoneo

Figura 14-5. Peritoneo. A) La membrana peritoneal tapiza la cavidad peritoneal abdominal y pélvica y recubre la mayoría de los órganos abdominales. Los mesenterios son capas de peritoneo plegadas sobre sí que contienen nervios y vasos. B) Las membranas peritoneales se forman en el embrión cuando los órganos abdominales se abren paso hacia la cavidad peritoneal. ¿Qué capa de peritoneo recubre el estómago?

Puntos sobre el caso

Cuando Margot afirmó que «las píldoras le estaban el estómago», se refería al dolor en la región umbilical del abdomen. ¿Qué parte del tracto digestivo está situada bajo el ombligo (fig. 14-4)?

La cavidad peritoneal, el peritoneo y el mesenterio contienen las vísceras abdominales y pélvicas

El tracto GI tiene una relación importante con el peritoneo, una membrana translúcida formada por células epiteliales escamosas. Las partes del peritoneo que recubren la pared abdominal se denominan **peritoneo parietal**. Otras partes, como el **peritoneo visceral**, se doblan sobre la totalidad de los órganos abdominales (fig. 14-5). Entre el peritoneo parietal y visceral se encuentra un espacio, la **cavidad peritoneal**, que está llena del resbaladizo **líquido peritoneal**. Este líquido permite no sólo que las membranas se deslicen unas sobre las otras, sino que las vísceras abdominales también lo hagan en el abdomen en relación con la pared torácica y otras vísceras.

La formación embrionaria del peritoneo es muy similar a la formación del pericardio que rodea el corazón (v. fig. 1-14). La cavidad peritoneal comienza como una bolsa en forma de globo pegada a la pared anterior del cuerpo, formando el peritoneo la pared del globo. Todos los órganos abdominales se encuentran posteriores e inferiores al. A medida que dichos órganos abdominales se desarrollan, se abren paso hacia delante y empujan hacia arriba los órganos pélvicos, hacia la cavidad peritoneal, como un globo tratando de penetrar en la superficie de un globo. La parte de la pared del globo en contacto directo con el órgano se convierte en el peritoneo visceral; el otro lado de la pared del globo permanece anclado a la pared del cuerpo como el peritoneo visceral. El espacio interior del globo se convierte como la cavidad peritoneal, que es sólo un delgado espacio virtual que separa las dos capas.

A medida que el feto crece y los órganos avanzan en la cavidad peritoneal, tiran de sus vasos sanguíneos y linfáticos y de los nervios que se alargan, pero permanecen anclados a la aorta, la vena cava y los conductos linfáticos. La membrana peritoneal envuelve estos paquetes de vasos y nervios formando un **mesenterio**, un doble pliegue de peritoneo que los ancla y estabiliza. Los mesenterios más importantes son:

El **epiplón mayor**, que cuelga del intestino grueso y del estómago como un delantal que cubre el intestino delgado. La grasa acumulada entre las capas del epiplón mayor constituye gran parte de la circunferencia abdominal de las personas con sobrepeso.

El **mesenterio propio**, que surge de una franja vertical anterior a las vértebras lumbares y se une al intestino delgado.

El **epiplón menor**, que suspende el estómago de la superficie inferior del hígado.

El páncreas, la parte proximal del intestino delgado (denominada *duodeno*) y partes del intestino grueso no avanzan, sino que permanecen cerca de la columna en la **cavidad retroperitoneal** (*retro* = «detrás»).

¡Recuerde! Un mesenterio consiste en dos capas de membrana que se pliegan sobre un órgano como una toalla doblada sobre el brazo; la toalla es la membrana peritoneal y el brazo es un órgano.

El tracto gastrointestinal tiene cuatro capas de tejido

Desde el esófago hasta el ano, el tracto GI tiene la misma estructura básica: cuatro capas de tejido que varían un poco microscópicamente según el lugar y la función en cuestión. Estas capas, desde la luz hacia el exterior, son la mucosa, la submucosa, la muscular y la serosa (fig. 14-6).

- **Mucosa.** La mucosa tapiza la luz del canal y está formada por tres capas:
 1. El **epitelio** es una capa más interna de células epiteliales que está en contacto directo con el contenido luminal. A pesar de que está formado por un epitelio cilíndrico en la mayor parte del tracto digestivo, el epitelio del esófago y el ano está formado por células epiteliales escamosas estratificadas. Células epiteliales modificadas denominadas *células caliciformes* secretan moco, que lubrica los alimentos y proporciona una capa de protección sobre el epitelio. Otras funciones del epitelio son formar una barrera física que separa el ambiente interno del cuerpo de las bacterias y de otros contenidos intestinales, secretar enzimas digestivas y hormonas y absorber los productos finales de la digestión.
 2. La **lámina propia** es una capa de tejido conectivo laxo. Contiene vasos sanguíneos y linfáticos y acúmulos de linfocitos (*tejido linfoide asociado a mucosas* [MALT], comentado en el cap. 12).
 3. La **lámina muscular de la mucosa** es una delgada capa de músculo liso. La contracción de estas fibras musculares arruga la mucosa en pliegues.
- **Submucosa.** La submucosa es una amplia capa de tejido conectivo moderadamente denso. Contiene vasos sanguíneos y linfáticos, así como glándulas formadas por repliegues profundos del epitelio de la mucosa. También contiene una red de nervios, el **plexo nervioso submucoso**, que ayuda a regular la función de la mucosa.
- **Muscular externa.** Esta capa es el caballo de batalla del tracto digestivo. El tracto GI proximal (boca, faringe y esófago proximal) y el esfínter anal externo contienen músculo esquelético. La muscular externa de las regiones intermedias (estómago, intestino delgado, intestino grueso y recto) está formada por dos capas de músculo liso, una *circular* interna y una *longitudinal* externa.

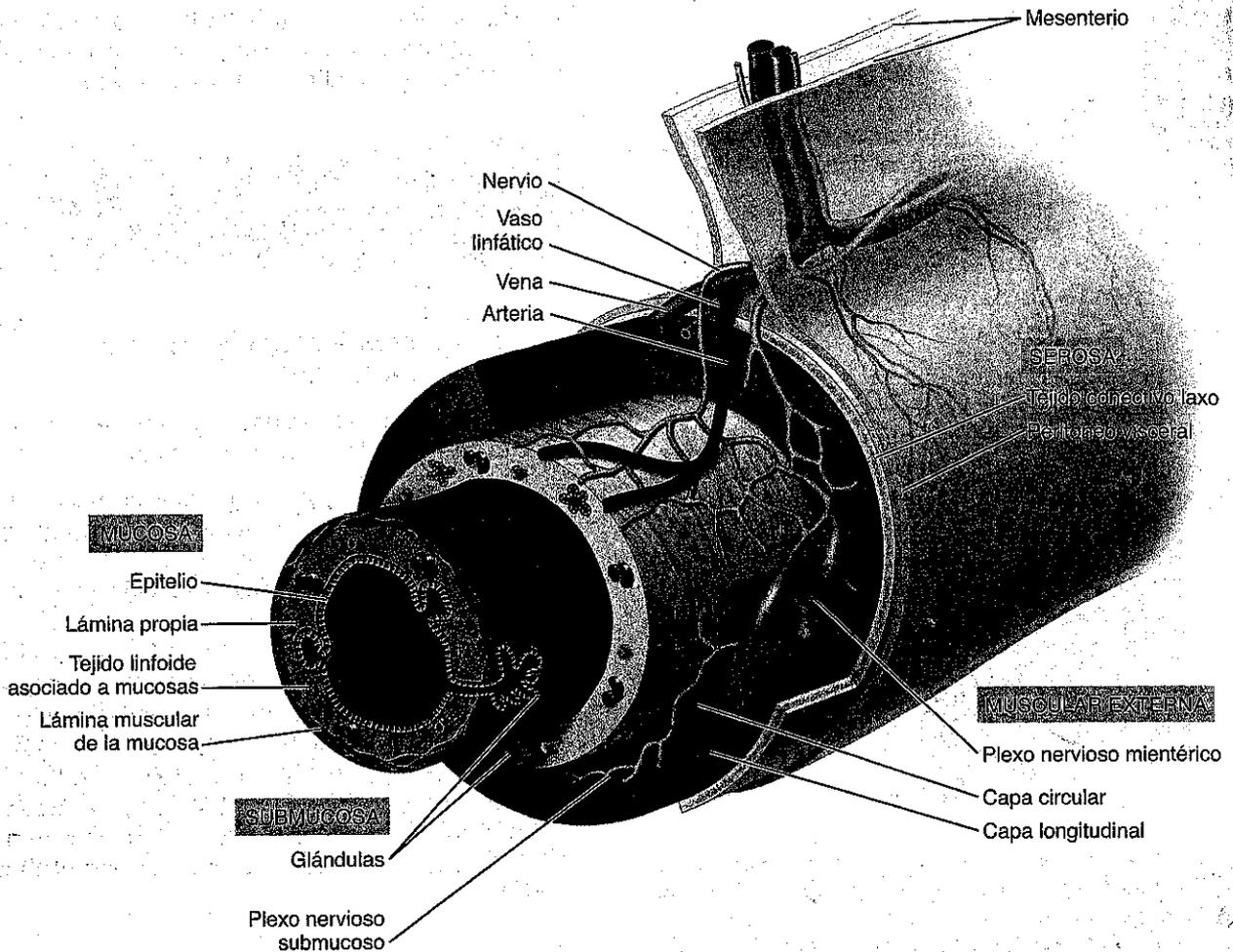


Figura 14-6. Capas de la pared del tracto gastrointestinal. Las cuatro capas principales son mucosa, submucosa, muscular externa y serosa. Cada capa contiene también vasos sanguíneos y linfáticos y nervios. Mencione las dos principales redes nerviosas gastrointestinales.

Entre las dos capas del músculo se encuentra el **plexo nervioso mientérico**, una segunda red nerviosa que regula la muscular externa.

- **Serosa.** La capa más externa, serosa, está formada por el peritoneo visceral y una delgada capa de tejido conectivo laxo entre el peritoneo y la muscular externa.

En conjunto, los plexos nerviosos submucoso y mientérico constituyen el **sistema nervioso entérico (SNE)** o «cerebro intestinal». Este nombre es más adecuado de lo que uno puede imaginarse: el SNE contiene más neuronas que la médula espinal. Como se analiza más adelante, el SNE interactúa con el sistema neurovegetativo para regular la función digestiva.

Apuntes sobre el caso

14-5 Las molestias digestivas de Margot a veces conllevaban también inflamación de las células que recubren la luz intestinal. ¿Qué tipo de células son y cuál de las cuatro capas GI está afectada?

El aparato digestivo realiza seis funciones importantes

El aparato digestivo funciona como una planta de reciclaje donde los objetos que se mueven a lo largo de una cinta transportadora se dividen en componentes simples que pueden ser reutilizados para otras funciones y el material sobrante inutilizable se desecha. De la misma manera, el tracto GI se divide en una serie de regiones distintas, cada una con una función particular. Las contracciones musculares de la pared del tracto GI son el equivalente de la cinta transportadora y el tracto digestivo y los órganos accesorios proporcionan las herramientas y técnicas para llevar a cabo la digestión.

Las fases de la digestión

En su conjunto, el aparato digestivo procesa los alimentos a través de seis fases básicas (fig. 14-7):

1. La **ingestión** (comer) introduce la comida en la cavidad bucal del tracto digestivo.

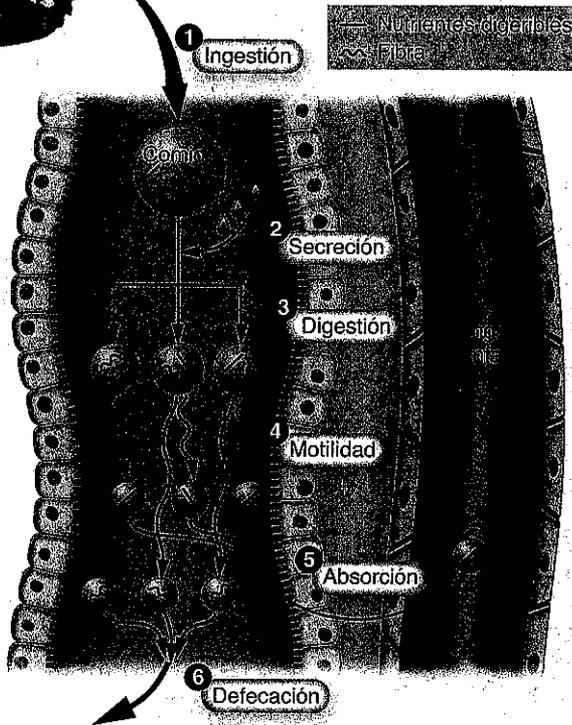


Figura 14-7. Procesos gastrointestinales. El tracto gastrointestinal extrae las sustancias utilizables a partir de los alimentos mediante la realización de seis procesos. La motilidad sólo se produce después de que se ha completado la digestión: ¿verdadero o falso?

6. La **defecación** es el paso de las heces (material alimenticio no digerible, compactado junto a bacterias y células epiteliales desprendidas) a través del ano.

Recuerde! La digestión comprende actividades mecánicas, como la masticación y el batido, así como la digestión química.

La segmentación y el peristaltismo son tipos de motilidad

Mientras el alimento se mueve a través del tracto GI, se producen dos tipos de actividad muscular:

- El **peristaltismo** es una *onda* de contracción del músculo circular que pasa por el tracto GI, que impulsa al bolo alimenticio hacia delante (fig. 14-8 A). Se produce en todo el tracto GI, pero en menor medida en el intestino delgado que en otras regiones.
- La **segmentación** no es una onda, sino una *constricción estacionaria* que presenta contracciones y relajaciones regulares del músculo circular (fig. 14-8 B). En la mayoría de los casos, la segmentación sirve para mezclar el contenido en lugar de impulsarlo por el tracto; algunos de los contenidos son empujados a lo largo del intestino, otros hacia arriba, agitándolos de un lado a otro. La segmentación se produce principalmente en el intestino delgado.

Apuntes sobre el caso

14-6 Cuando Margot consume alimentos que contienen lactosa, su contenido intestinal es impulsado de una forma demasiado rápida a través del tracto GI. ¿Cuál de los seis procesos digestivos mueven los alimentos a través del tracto GI?

La digestión química descompone los alimentos en sus componentes

Durante el proceso de digestión química, los alimentos se descomponen en sus componentes de la siguiente manera (la tabla 14-3 de la pág. 555 identifica los productos químicos involucrados):

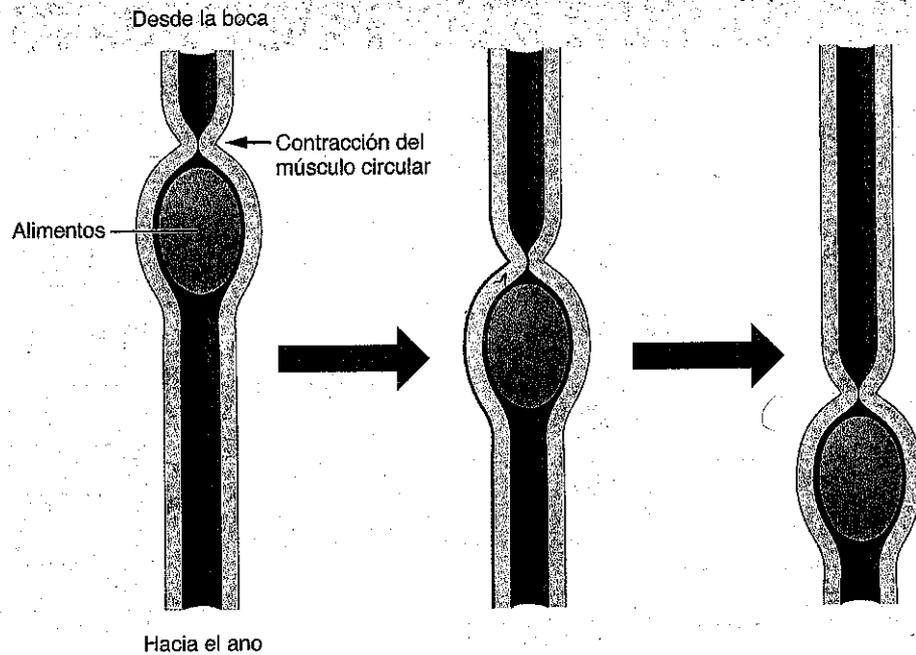
- Los carbohidratos se descomponen en monosacáridos (moléculas simples de azúcar).
- Los triglicéridos, la forma más común de los lípidos ingeridos, se descomponen cada uno en un monoglicérido (un glicerol unido a un ácido graso) y *dos ácidos grasos libres*.
- Las proteínas que consumimos, ya sea en alimentos de origen vegetal o animal, se dividen en cadenas más pequeñas llamadas *polipeptidos* o en aminoácidos individuales.

La **secreción** es la liberación de líquidos, principalmente agua con ácido, amortiguadores y/o enzimas, en la luz por parte de las células epiteliales y los órganos digestivos accesorios. Recuerde del capítulo 2 que las enzimas son moléculas, generalmente proteínas, la mayoría con nombres que terminan en *-asa*, diseñadas para acelerar reacciones químicas en particular. Por ejemplo, una proteasa acelera la descomposición de las proteínas. Estas secreciones exocrinas proporcionan las herramientas químicas para la digestión y ayudan a proteger la pared del tracto digestivo.

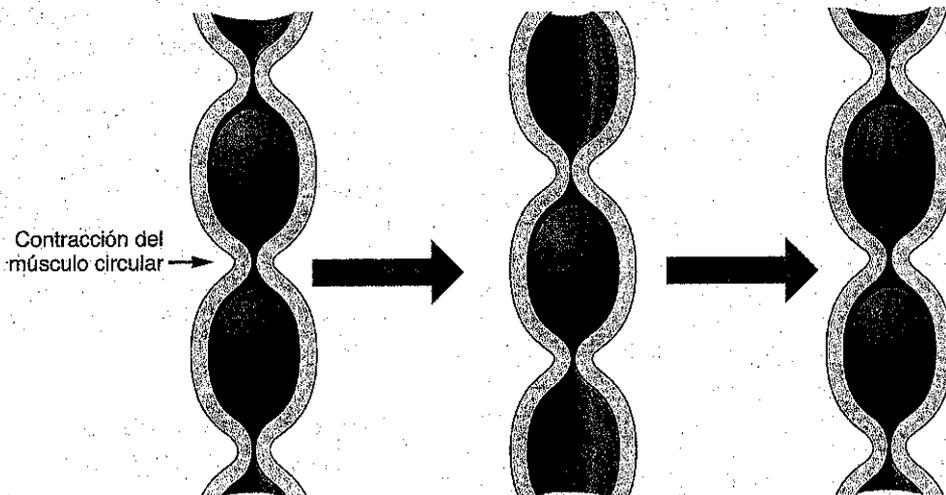
Digestión. La *digestión mecánica* es la separación y corte de los alimentos en trozos pequeños con los dientes y por la acción de batido del estómago. La *digestión química* es la separación de las moléculas grandes de los productos alimenticios en otras más pequeñas por parte de las secreciones antes mencionadas.

Motilidad. Las contracciones musculares del tracto GI proporcionan movilidad, que mueve físicamente los productos alimenticios de un lugar a otro y los mezclan con las secreciones digestivas.

La **absorción** es la captación de pequeñas moléculas desde el tracto GI hacia la sangre o la linfa.



A Peristaltismo



B Segmentación

Figura 14-8. Motilidad gastrointestinal. A) El peristaltismo mueve el contenido luminal hacia delante de la onda de contracción. B) En la segmentación, el contenido se mezcla con movimientos hacia delante y hacia atrás. ¿Qué tipo de movilidad sería más adecuada en el esófago, donde queremos que el contenido se mueva muy rápidamente?

Examen sorpresa

14-9 ¿Cuál de los siguientes es un órgano digestivo accesorio: el esófago o el páncreas?

14-10 ¿Cuál de los siguientes se clasifica como mesenterio: epiplón mayor, epiplón menor, mesenterio propio?

14-11 Indique el plexo nervioso que regula la función de la mucosa.

14-12 ¿Son endocrinas o exocrinas las sustancias secretadas en la luz del tracto digestivo?

14-13 ¿Qué tipo de movilidad es la mejor para impulsar las sustancias a través del tracto digestivo, el peristaltismo o la segmentación?

14-14 ¿Es la glucosa un monosacárido o un disacárido?

Tabla 14-3. Enzimas digestivas

Nombre	Origen	Función
Amilasa salival	Glándulas salivales	Digiere el almidón en maltosa
Pepsina	Glándulas gástricas	Digiere las proteínas en polipéptidos más cortos
Amilasa pancreática	Páncreas	Digiere el almidón en cadenas de azúcares más cortas
Proteasas pancreáticas (tripsina, quimotripsina)	Páncreas	Digieren polipéptidos a polipéptidos más cortos
Lipasa pancreática	Páncreas	Digiere triglicéridos a monoglicéridos y ácidos grasos
Nucleasas	Páncreas	Digiere ácidos nucleicos (ARN, ADN)
Exopeptidasas (carboxipeptidasas, aminopeptidasas)	Páncreas, borde en cepillo intestinal	Digiere polipéptidos en aminoácidos individuales
Disacaridasas (lactasa, maltasa, sacarasa)	Borde en cepillo intestinal	Digiere disacáridos en monosacáridos

Boca y estructuras asociadas

La cavidad bucal (boca) se enmarca en las mejillas, el paladar, la lengua, los labios y la faringe (fig. 14-9 A). Toda la superficie está recubierta por mucosa escamosa estratificada que, como la epidermis, está diseñada para soportar la fricción y soportar fuertes presiones, ya que desprende células todos los días. Por ejemplo, si un día se quema la boca con una *pizza* caliente, al día siguiente ya se encuentra mejor porque todas las células dañadas se han sustituido.

Los labios son pliegues carnosos de tejido que forman el borde anterior y enmarcan la apertura de la boca. En el exterior están revestidos por piel y en el interior, por mucosa escamosa. Dentro de cada labio se encuentra un pequeño pliegue de tejido, el *frenillo labial* (del latín *frenum* = «brida»), que sirve para reforzar la conexión del labio superior con el maxilar superior y el labio inferior con la mandíbula. Los labios sellan la boca al tragar, masticar y manipular alimentos, y son importantes en el habla. Se funden con las mejillas para formar el borde lateral de la boca. Tanto los labios como las mejillas contienen tiras de músculo esquelético que permiten el movimiento voluntario.

El paladar forma el techo de la boca (fig. 14-9 B). La parte anterior del paladar o paladar duro está cubierta por placas óseas de los huesos maxilares y palatinos y funciona como una superficie dura contra la cual la lengua puede manipular los alimentos. La parte posterior del paladar o paladar blando es un repliegue móvil de tejido formado principalmente por músculo esquelético que se extiende hacia atrás desde el paladar duro. Colgando del centro de la boca se encuentra la úvula, una prolongación de tejido blando. Con la deglución, la úvula y el paladar se retraen hacia arriba para evitar que los alimentos entren en la par-

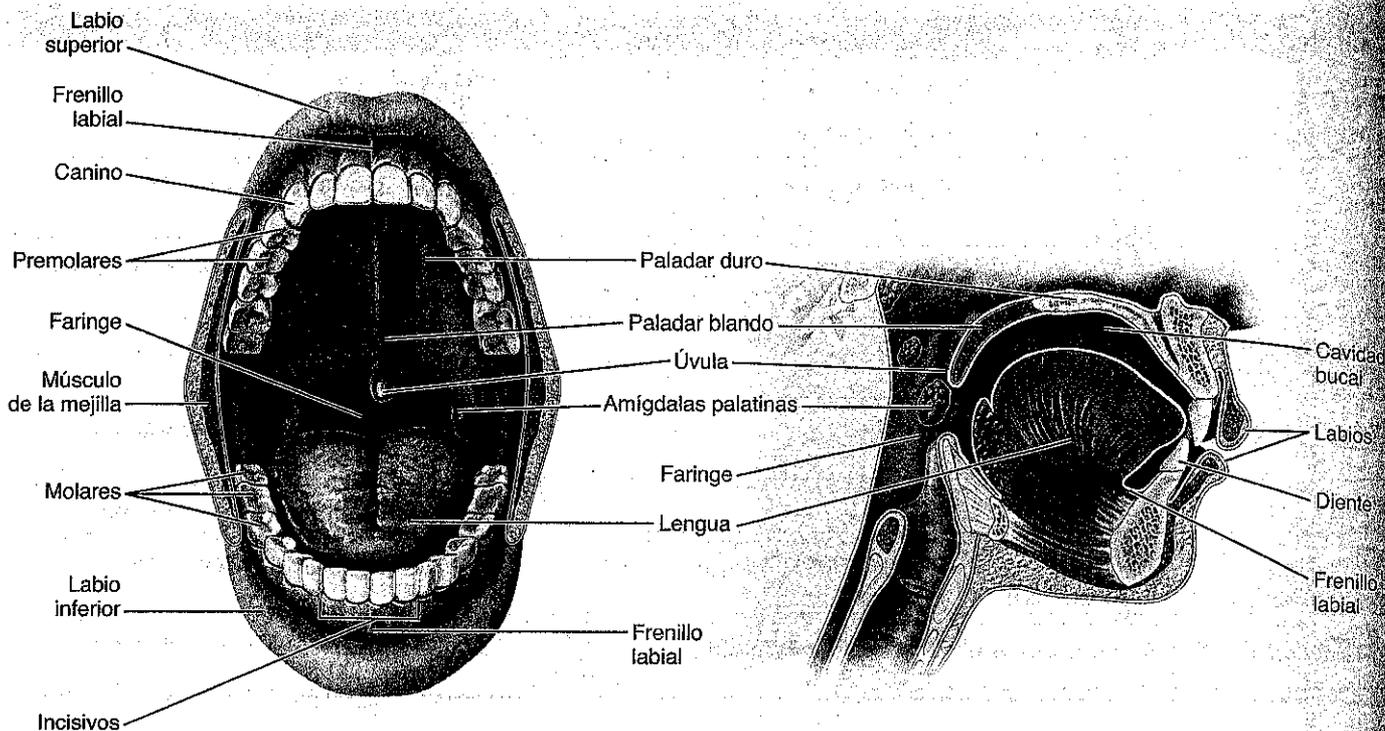
te posterior de la nariz (nasofaringe). A los lados, el velo del paladar se une a pliegues verticales de tejido que contienen las amígdalas palatinas (cap. 12) y se extienden hacia abajo para unirse con la base de la lengua.

La lengua ocupa el suelo de la boca. La mayor parte de su volumen está formado por músculo esquelético, lo que permite la masticación, la deglución y el habla. La parte superior de la lengua contiene papilas gustativas (cap. 9). La lengua se estrecha la parte anterior e inferior formando el frenillo labial, que ancla la lengua en el suelo de la boca y evita que se mueva demasiado hacia atrás durante la deglución o el sueño.

Los dientes inician la digestión mecánica

Los dientes son órganos duros especializados parecidos a los huesos (fig. 14-9 A). Los humanos tienen dos juegos de dientes. Los *dientes de leche* o *deciduos* (del latín *decidere* = «caerse») aparecen a la edad de 6 meses y a continuación periódicamente hasta que, a los 2 o 3 años, están presentes los 20. A continuación aparecen los *dientes permanentes*, que empiezan a salir de las encías alrededor de los 6 años. A medida que crecen, empujan hacia arriba, y los dientes de leche se aflojan y caen. Los humanos normalmente tienen 32 dientes permanentes, con diversas formas y funciones de acuerdo con su ubicación:

- Existen cuatro *incisivos*, arriba y abajo, los más próximos a la línea media de la parte anterior de la boca. Tienen un único borde agudo para el corte.
- A continuación, lateralmente, se encuentran los *caninos* (colmillos), uno a cada lado, arriba y abajo. Estos «dien-



A Cavidad bucal, vista anterior

B Cavidad bucal, sección sagital

Figura 14-9. Cavidad bucal. A) La cavidad bucal (boca) está bordeada por el paladar, la lengua, las mejillas y la faringe. B) Esta sección sagital destaca la estructura de la lengua y el paladar. ¿Qué estructura está directamente unida al paladar blando, la úvula o el frenillo?

tes de vampiro» tienen un único punto afilado para perforar y desgarrar.

- Más hacia los lados y hacia atrás se encuentran los dos *premolares* (bicúspides), que tienen dos carillas para desgarrar y aplastar.
- En el extremo posterior de cada lado se encuentran tres *molares* (del latín *molaris* = «piedra de molino»), cada uno de los cuales tiene cuatro o cinco facetas para moler y triturar.

Los dientes se encuentran en cavidades (*alvéolos*) de la mandíbula y el maxilar y están rodeados por un collar de tejido blando, las **encías** (fig. 14-10). Un diente tiene dos partes principales, la corona y la raíz. La **corona** es la parte visible que sobresale de la encía; la **raíz** está incrustada en la encía y el hueso alveolar. En el centro de cada diente se encuentra la **cavidad de la pulpa**, que contiene los nervios, así como los vasos sanguíneos y linfáticos. La cavidad de la pulpa se extiende desde la corona hasta la punta de la raíz, por donde salen los nervios y los vasos para hacer sus conexiones externas. La extensión de la pulpa dentro de la raíz forma el **conducto radicular**. La mayor parte del diente está formado por **dentina**, un tejido conectivo especializado semejante al hueso que proporciona rigidez y rodea la cavidad de la pulpa. La dentina de cada raíz está cubierta por **cemento**, una segunda capa parecida al hueso que se une al **ligamento periodontal**, una vaina fibrosa dura que ancla el diente en el hueso alveolar. La dentina de

cada corona está cubierta por **esmalte** que debe su increíble dureza a su alto contenido en calcio y a la orientación de los cristales de calcio.

Apuntes sobre el caso

14-7 En la clínica se le administró a Margot un fármaco de acción muy rápida que puso junto al frenillo de la lengua. En el lenguaje corriente, ¿dónde se puso la pastilla?

Las glándulas salivales secretan saliva

Existen tres pares de *glándulas salivales*, situadas más allá de los límites de la boca y que vacían sus secreciones en la cavidad bucal a través de los siguientes conductos (fig. 14-11).

- Las **glándulas parótidas** son algo más pequeñas que una baraja de cartas. Estas glándulas salivales son las más grandes y están situadas delante y por debajo de la oreja, sobre el músculo masetero. El conducto parotídeo se abre en el interior de la mejilla aproximadamente donde se encuentran los molares.
- Las **glándulas submaxilares** tienen alrededor de un tercio del tamaño de las parótidas y se encuentran junto

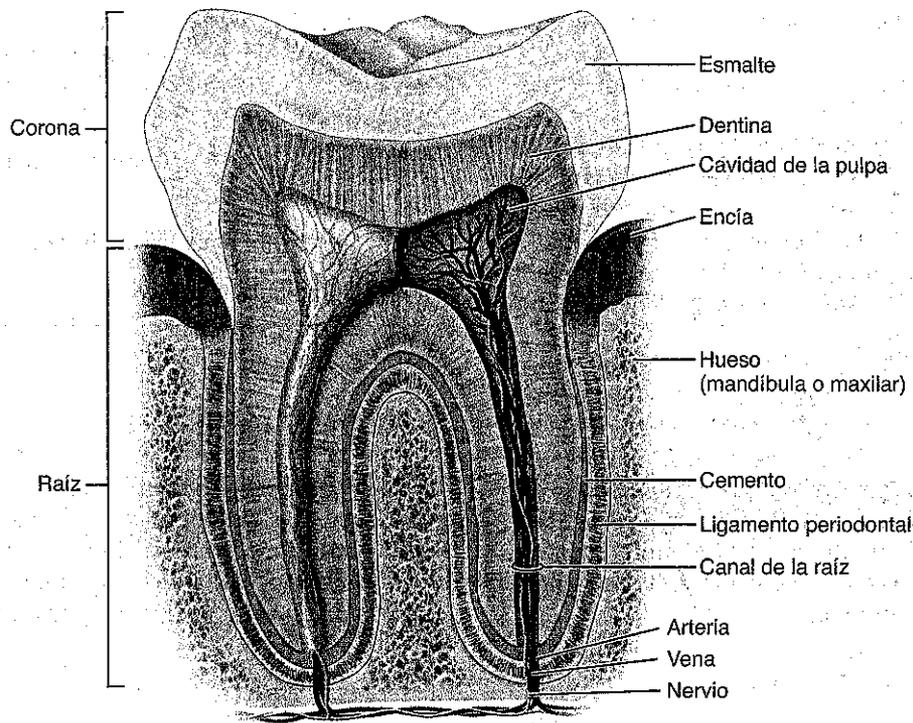


Figura 14-10. Anatomía de un diente. El revestimiento del conducto radicular y de la cavidad de la pulpa del lado derecho se ha cortado. ¿Qué «cemento» el ligamento periodontal al diente?

a la mandíbula en el suelo de la boca, a ambos lados de la base de la lengua. Cada conducto submaxilar desemboca en el suelo de la boca a cada lado del frenillo.

- Las **glándulas sublinguales** son más pequeñas y están localizadas anteriores a las glándulas submaxilares en el suelo de la boca. Se conectan al frenillo por múltiples conductos pequeños.

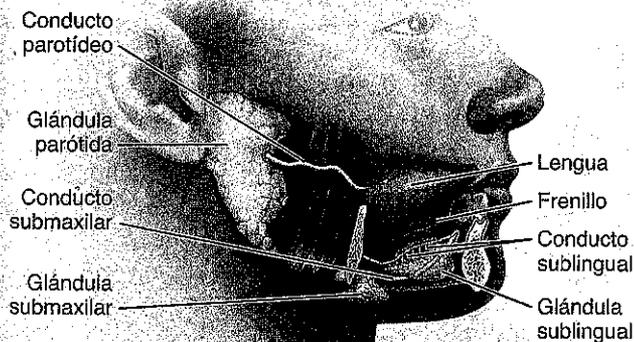


Figura 14-11. Glándulas salivales. Las glándulas salivales secretan saliva en la cavidad bucal a través de pequeños conductos. Indicar la glándula salival situada directamente por debajo de la lengua.

La **saliva** es una sustancia líquida secretada por las glándulas salivales en la boca. Secretamos un promedio de 1,5 l de saliva al día, que contiene:

- **Agua**, que diluye la comida, enjuaga la boca y disuelve las moléculas de los alimentos para que puedan ser detectados por las papilas gustativas.
- **Anticuerpos inmunoglobulina A (IgA) y lisozima**, que mantienen a la población de bacterias bucales bajo control.
- **Mucina**, que absorbe agua para formar el moco. Éste lubrica la comida para facilitar la deglución.
- **Amilasa**, enzima que inicia la digestión de los carbohidratos. La amilasa descompone el almidón en el disacárido maltosa.

Apuntes sobre el caso

14-8 Los comprimidos de Margot también contenían almidón, que ayuda a atraer el agua hacia el comprimido para disolver el ingrediente activo. Si Margot mantiene el comprimido en su boca durante un rato, ¿qué proceso metabólico ocurrirá con el almidón?

La secreción, la motilidad y la digestión comienzan en la boca

Los alimentos están en la boca sólo durante poco tiempo, suficiente sin embargo para que ocurran diversos procesos digestivos:

- **Secreción:** las glándulas salivales secretan saliva en la cavidad bucal.
- **Motilidad:** la lengua manipula los alimentos para la masticación y la deglución.
- **Digestión:** los dientes, la lengua y las mejillas trabajan juntos para iniciar la digestión mecánica, rompiendo los alimentos en trozos más pequeños (*maceración*) y mezclándolos con la saliva. La amilasa salival comienza a digerir los almidones químicamente, aunque sólo puede acceder a aquellos presentes en porciones de alimento relativamente grandes.
- **Absorción:** las moléculas de los alimentos no se absorben en la boca. Sin embargo, algunos medicamentos de acción rápida pueden ser absorbidos a través de las membranas mucosas. Las pastillas de nitroglicerina, por ejemplo, se utilizan para tratar enfermedades del corazón mediante la dilatación de los vasos coronarios. Pueden colocarse debajo de la lengua ante la primera sospecha de problemas, y el medicamento pasa rápidamente al torrente sanguíneo.

Examen sorpresa

14-15 ¿Qué parte de la boca es más anterior, el paladar blando o el paladar duro?

14-16 ¿Cuántos molares hay en la boca de un adulto?

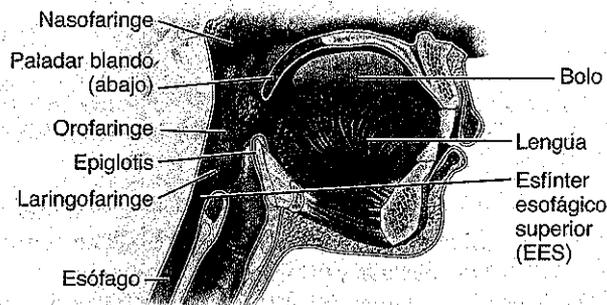
14-17 ¿Qué cubre el cemento, la raíz o la corona?

14-18 ¿Qué glándulas salivales son más grandes?

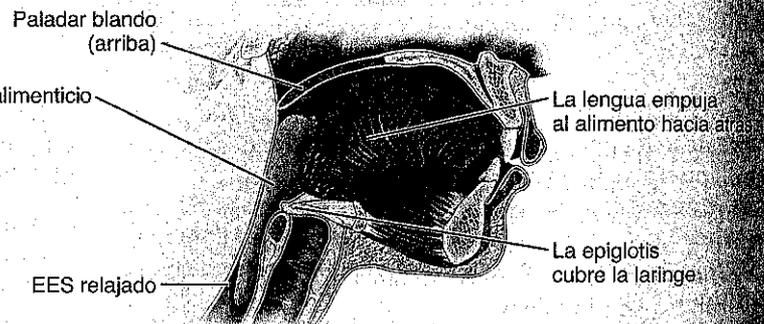
Faringe y esófago

Cuando el alimento es deglutido, va en primer lugar desde la boca hacia la **orofaringe**, un paso en forma de embudo situado directamente detrás de la boca (fig. 14-12). Su pared está formada por músculo *esquelético* y está revestida por epitelio escamoso estratificado. Por encima

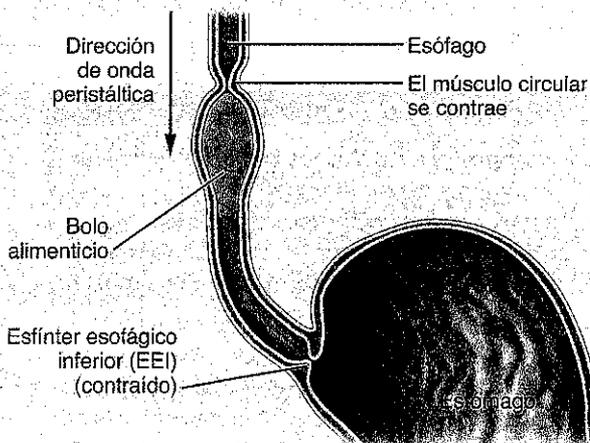
Paso 1



Paso 2



Paso 3



Paso 4

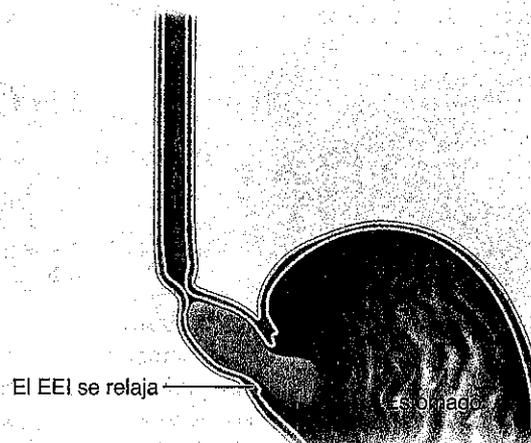


Figura 14-12. Faringe y deglución. La ingestión implica el esfuerzo coordinado de músculos esqueléticos en la boca, faringe y esófago. ¿Qué cubre la epiglotis durante la deglución, la laringe o el esófago?

de la orofaringe se encuentra la *nasofaringe*. Inmediatamente inferior a la orofaringe está la **laringofaringe**, formada también por músculo esquelético y revestida de epitelio escamoso. Conecta la parte inferior con el esófago para el paso de los alimentos hacia el estómago y por delante con la laringe para el paso del aire hacia el árbol respiratorio.

El **esófago** es un tubo de músculo liso de pared gruesa, de unos 25 cm de largo, que comienza en el extremo inferior de la laringofaringe, se extiende hacia abajo por delante de la columna vertebral, pasa a través de una abertu-

tura en el diafragma (el *hiato*) y termina en su unión con el estómago. Está estabilizado por arriba gracias a su conexión con la laringofaringe y por abajo por el diafragma que le rodea.

El esófago está revestido por un epitelio escamoso estratificado, lo que facilita el deslizamiento suave hacia abajo de los alimentos. En el extremo inferior del esófago, se une con el estómago por una región llamada la *unión gastroesofágica*; en este punto el epitelio escamoso cambia bruscamente al epitelio cilíndrico resistente a los ácidos que secreta el moco que recubre el estómago.



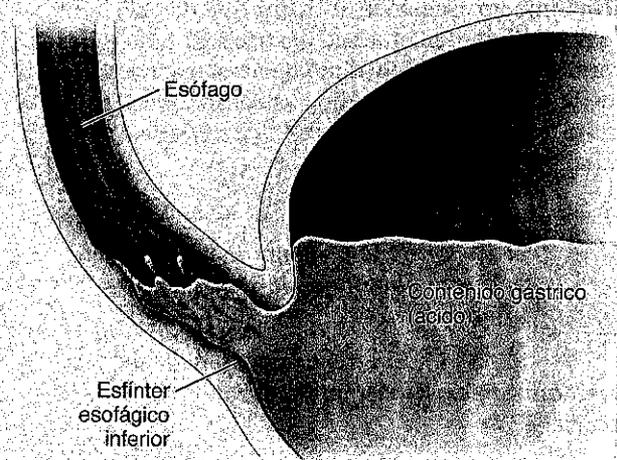
INSTANTÁNEA CLÍNICA

Enfermedad por reflujo gastroesofágico

Un esfínter esofágico inferior incompetente puede permitir que el contenido ácido gástrico refluya hacia el esófago, sobre todo cuando la persona está acostada. El ácido gástrico altamente corrosivo daña la parte inferior del esófago, lo que causa inflamación y dolor, una afección llamada *enfermedad por reflujo gastroesofágico* (ERGE) o *esofagitis por reflujo*. El ácido gástrico regurgitado incluso puede seguir hasta la tráquea y entrar en los pulmones, produciendo tejido cicatricial en el pulmón y aumentando las probabilidades de cáncer de pulmón.

En los países desarrollados, alrededor del 10% de los adultos, especialmente los mayores de 40 años, tienen algún grado de reflujo gastroesofágico. El sobrepeso y la obesidad son factores de riesgo, al igual que fumar cigarrillos. Una hernia de hiato, en la que la porción superior del estómago protruye a través del hiato, también aumenta el riesgo. La enfermedad también afecta hasta un 35% de niños, que regurgitan con frecuencia la leche y les causa mayor susceptibilidad a las enfermedades respiratorias. Las mujeres embarazadas también sufren de forma transitoria ERGE, ya que los estrógenos (que se producen en grandes cantidades durante el embarazo) relajan el esfínter esofágico inferior.

El síntoma predominante es el dolor, que suele ser difícil de distinguir del cardíaco porque el corazón es adyacente a la parte inferior del esófago. De hecho, el dolor de la ERGE en inglés suele llamarse *heartburn* (quemadura cardíaca). Algunos casos de ERGE son, sin embargo, asintomáticos. Las complicaciones incluyen hemorragia, cicatrización y fibrosis (estenosis). En los casos especialmente graves (10%), el epitelio escamoso está tan dañado que se transforma en epitelio cilíndrico alto resistente a los ácidos semejante al epitelio que se encuentra en el estómago, un proceso denominado *metaplasia* (del griego *metaplassein* = «moldear en una



Enfermedad por reflujo gastroesofágico.

El esfínter esofágico inferior no consigue mantener el contenido gástrico alejado de los vulnerables tejidos esofágicos.

nueva forma»). Este cambio se asocia con un aumento de riesgo de cáncer de esófago de unas 40 veces mayor.

La ERGE puede tratarse a menudo de forma satisfactoria con algunos cambios en el estilo de vida, como elevar la cabecera de la cama y evitar los factores desencadenantes del reflujo, como el alcohol, la cafeína y los alimentos picantes antes de acostarse. Perder peso y dejar de fumar suelen ser medidas útiles. Los medicamentos de uso común como los antiácidos pueden disminuir la gravedad de los síntomas de ERGE mediante la reducción de la acidez del estómago; los casos más graves se tratan con fármacos que inhiben la secreción de jugo gástrico.

En la deglución, la lengua empuja el bolo alimenticio hacia atrás, en dirección a la orofaringe (fig. 14-12, paso 1). Cuando llega a la orofaringe, se inicia una contracción refleja de los músculos faríngeos que propulsa el bolo hacia abajo, hacia la laringofaringe. El paladar blando y la úvula se elevan para sellar la entrada de la nasofaringe y la epiglotis se pliega fácilmente sobre la abertura de la laringe para cerrarla y evitar que los alimentos entren en las vías respiratorias. La onda de actividad eléctrica que contrae la pared de la faringe relaja el *esfínter esofágico superior* (EES), una banda circular de músculo esquelético. La relajación del EES permite que el bolo entre en el esófago (paso 2). La onda eléctrica continúa a través del esófago, provocando una contracción peristáltica que empuja el bolo por delante de él (paso 3). Por último, el bolo alcanza el *esfínter esofágico inferior* (EEI), una banda circular de músculo liso. La relajación del EEI permite que el bolo entre en el estómago (paso 4).

Inmediatamente después de que el bolo haya pasado, el esfínter se contrae de nuevo para evitar que el contenido del estómago refluya hacia arriba. Este cierre rápido protege al epitelio escamoso del esófago, que de otro modo se dañaría fácilmente con el ácido gástrico. El fallo de este mecanismo y el resultante reflujo de ácido gástrico es la causa de la enfermedad por reflujo gastroesofágico, que se comenta en la anterior Instantánea clínica titulada «Enfermedad por reflujo gastroesofágico».

Examen sorpresa

14-19 ¿Dónde encontraría músculo liso, en la laringofaringe, en el esófago o en ambos?

14-20 El velo del paladar y la úvula, ¿cubren la entrada de la nasofaringe o de la laringofaringe?

14-21 Verdadero o falso: el esfínter esofágico superior está formado por músculo esquelético y el esfínter esofágico inferior por músculo liso.

Estómago

La mayoría de las comidas se ingieren mucho más rápido de lo que el cuerpo puede digerir. Por lo tanto, el tracto GI necesita un «contenedor» desde el que pueda liberarse el alimento en porciones durante varias horas según lo permita la capacidad intestinal. El estómago sirve para este objetivo y dos más: mientras que los alimentos están «esperando su turno», el estómago mezcla y agita e inicia el proceso de digestión de las proteínas. En el estómago se absorbe muy poco material; principalmente algo de agua, alcohol, minerales y fármacos.

El estómago tiene cuatro regiones

El **estómago** es un embudo en forma de J que se prolonga por encima con el *esófago* y desemboca por su parte infe-

rior en el *duodeno* del intestino delgado. Está localizado en el cuadrante superior izquierdo del abdomen, escondido debajo del reborde inferior de la caja torácica izquierda. Es relativamente inmóvil en ambos extremos, pero tiene un amplio margen de movimiento en la parte media.

Está formado por cuatro regiones principales (fig. 14-13). En orden descendente, son las siguientes:

- El *cardias* es el anillo de estómago que colinda con el esófago. Se denomina así porque el corazón se encuentra justo por encima de esta región, en el otro lado del diafragma.
- El *fundus* es la parte superior bulbosa a la izquierda del cardias.
- Por debajo del fundus se encuentra el *cuerpo*, la parte más grande del estómago.
- A continuación del cuerpo se encuentra el píloro (del griego *pulouros* = «portero»), una región con forma de embudo que se estrecha a medida que conecta con el duodeno.

Un anillo grueso de músculo liso, el *esfínter pilórico*, rodea la unión del píloro y el duodeno.

El reborde izquierdo (lateral) del estómago se llama *curvatura mayor*. El reborde derecho (medial) es la *curvatura menor*. Al igual que otras partes del tracto GI, el estómago está encerrado dentro de los pliegues del peritoneo, que lo anclan a la pared posterior de la cavidad abdominal.

El estómago está inervado por el sistema neurovegetativo. Las fibras simpáticas del estómago llegan desde el ganglio celiaco (semilunar), y las parasimpáticas lo hacen por el nervio vago (nervio craneal X) (figs. 8-21 y 8-22).

La sangre arterial llega al estómago por la arteria gástrica izquierda, una rama del tronco celiaco (lámina 11-2). El retorno venoso del estómago viaja por las venas gástricas izquierda y derecha hasta la vena porta. La sangre portal pasa a por el hígado para su procesamiento, como veremos a continuación (lámina 11-3).

La pared del estómago está formada por cuatro capas

El estómago está compuesto por las mismas cuatro capas que las del tubo digestivo: mucosa, submucosa, muscular y serosa (figs. 14-13 y 14-14). Cuando el estómago está vacío, las contracciones tónicas de la capa muscular «amalgan» la mucosa y submucosa en grandes pliegues. Una vez los alimentos llegan al estómago y lo distienden, la muscular externa se relaja y los pliegues se aplanan. Ésta tiene las habituales capas circular interior y exterior de músculo liso, que se combinan para impulsar los alimentos hacia el intestino. Sin embargo, el estómago tiene una tercera capa *oblicua* más interior que cruza las otras dos capas en unos 45° y permite batir y remover los alimentos de una forma diferente a otras partes del tracto digestivo. La capa más externa del estómago es la serosa, formada por peritoneo visceral y una fina capa de tejido fibroso entre el peritoneo y la muscular externa.

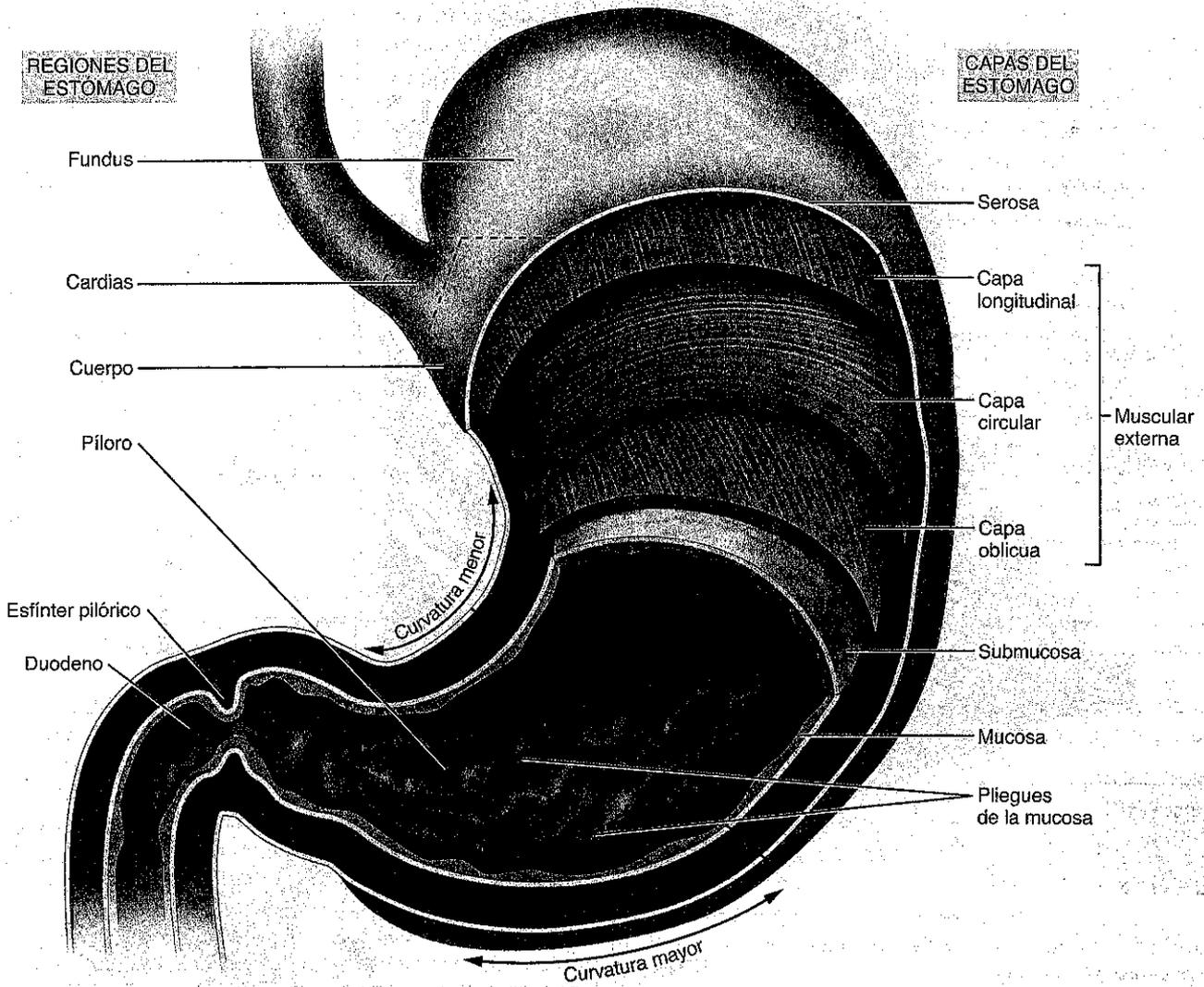


Figura 14-13. Anatomía macroscópica del estómago. De las cuatro regiones que forman el estómago, el cuerpo es el más grande. Los gases se almacenan en la región del estómago más superior. ¿Cómo se llama esta región?

La mucosa secreta jugo gástrico, hormonas y enzimas

La mucosa del estómago contiene numerosas aberturas pequeñas o *criptas gástricas* que son invaginaciones tubulares de la mucosa superficial (fig. 14-14). Las *células mucosas superficiales* tapizan la superficie de la mucosa y las criptas gástricas. En la parte inferior, cada cripta gástrica se abre a las *glándulas gástricas*. Cada glándula contiene *células mucosas del cuello*, que secretan moco que protege el revestimiento del estómago. Dependiendo de su ubicación, las glándulas gástricas pueden contener otros tipos de células que vacían otras secreciones gástricas en la cripta. Por ejemplo, las glándulas gástricas del cuerpo del estómago secretan grandes cantidades (alrededor de 1,5 l/día) de *jugo gástrico ácido*. El jugo gástrico contiene secrecio-

nes de dos tipos de células especializadas, las *parietales* y las *principales*.

Las *células parietales* secretan en la luz gástrica al mismo tiempo *ácido clorhídrico* y *factor intrínseco*. El ácido clorhídrico (HCl) es un ácido muy fuerte (el pH del jugo gástrico oscila desde 1 hasta 3,5). La acidez del jugo gástrico es importante en la digestión de las proteínas (v. más adelante) y mata a la mayoría de los patógenos ingeridos con la comida o la bebida. El *factor intrínseco* es una glucoproteína que se une con la vitamina B₁₂ para ser absorbida por el intestino delgado. Dado que esta vitamina es necesaria para la síntesis de ADN, la producción de eritrocitos y la salud de las neuronas, su deficiencia puede ser terrible.

Las *células principales* secretan *pepsinógeno* en la luz gástrica. Se trata de un precursor inactivo de la **pepsina**

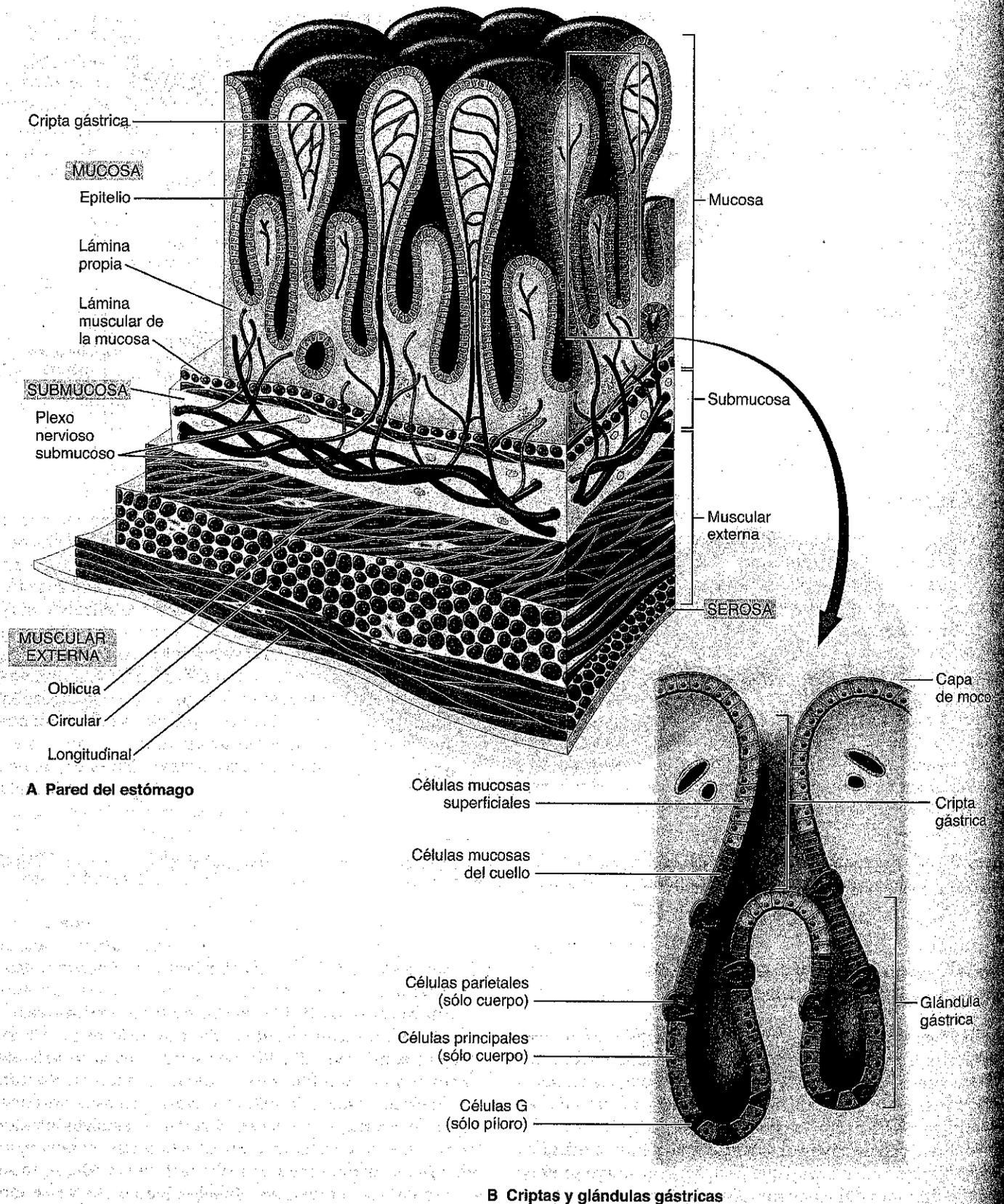


Figura 14-14. Capas del estómago y criptas gástricas. A) En esta sección de la pared del estómago se destaca la disposición de las tres capas de la muscular externa. B) Las glándulas gástricas del cuerpo del estómago secretan ácido clorhídrico y pepsinógeno en la luz del estómago. Las glándulas gástricas del píloro secretan hormonas en la sangre y el líquido intersticial. Las células mucosas se encuentran en todo el estómago. ¿Las glándulas gástricas son totalmente glándulas exocrinas: verdadero o falso?

(del griego *pepsis* = «digestión»), una enzima que digiere proteínas, que se comenta más adelante.

El jugo gástrico es tan ácido que, literalmente, puede disolver las uñas. ¿Por qué no disuelve la mucosa gástrica? En primer lugar, las glándulas que secretan ácido gástrico son resistentes a los ácidos y están muy estrechamente unidas entre sí para evitar que el jugo gástrico se escape entre las células hacia la submucosa, donde el ácido puede hacer mucho daño. En segundo lugar, el moco gástrico forma una capa viscosa alcalina que impide físicamente que el ácido llegue a las células epiteliales y neutraliza químicamente las moléculas perdidas de ácido que se acercan demasiado. En tercer lugar, las células de la superficie epitelial no viven lo suficiente para ser dañadas por el ácido que evitan los dos mecanismos anteriores, ya que se desprenden después de unos días y son reemplazadas por células nuevas a partir de una reserva de citoblastos.

No obstante, cuando el ácido gástrico penetra en el epitelio, puede producir una lesión grave. La presencia persistente de ácido debajo de la mucosa corroe los tejidos subyacentes, creando un defecto en forma de cráter en la superficie de la mucosa que se denomina *úlcera*. Sorprendentemente, las úlceras son consecuencia en la mayoría de los casos de la infección por *Helicobacter pylori*, una bacteria que llega con los alimentos contaminados y evita el jugo gástrico destructivo excavando profundamente en la capa mucosa protectora e incluso secreta bicarbonato para amortiguar su entorno. Otras secreciones bacterianas inflaman y dañan la mucosa, lo que permite el acceso del ácido gástrico al tejido submucoso que no está protegido. Pero otros factores también son importantes. Las úlceras pépticas son más frecuentes en hombres que en mujeres, los que abusan del alcohol, los fumadores y quienes toman a largo plazo dosis altas de antiinflamatorios no esteroideos (p. ej., ácido acetilsalicílico o ibuprofeno) para el dolor crónico. El tratamiento incluye antibióticos para eliminar el *H. pylori* y otros fármacos para reducir la secreción de ácido gástrico.

Las secreciones de las células principales y de las células parietales trabajan conjuntamente para iniciar la digestión de las proteínas (fig. 14-15 A). Recordemos que las proteínas son largas cadenas de aminoácidos enrolladas y plegadas en formas tridimensionales. En primer lugar, el HCl endereza (desnaturaliza) las proteínas, de forma que las enzimas pueden acceder a los enlaces entre los aminoácidos (paso 1). El HCl también convierte el pepsinógeno inactivo en pepsina activa (paso 2). La pepsina activa puede romper y activar otras moléculas de pepsinógeno en pepsina (paso 3). Finalmente, la pepsina rompe los enlaces peptídicos entre ciertos aminoácidos, dando lugar a péptidos más cortos (paso 4).

Las glándulas gástricas del píloro no secretan mucho jugo gástrico, ya que no tienen muchas células parietales o principales. En cambio, contienen varios tipos de células endocrinas especializadas que secretan hormonas hacia el líquido intersticial y el torrente sanguíneo. Entre ellas se encuentran las **células G**, que secretan la hormona *gastrina* en la sangre. Al final del capítulo comentaremos la función de la gastrina en la regulación de la función del estómago.

¡Recuerde! Las células principales están localizadas en la profundidad de las glándulas gástricas. El pepsinógeno que secretan permanece inactivo hasta que se aproxima a la luz del estómago, donde el ácido gástrico lo convierte en pepsina activa. Este mecanismo de activación es de protección: si se secretase la pepsina de forma activa en la profundidad de la pared gástrica, digeriría el estómago.

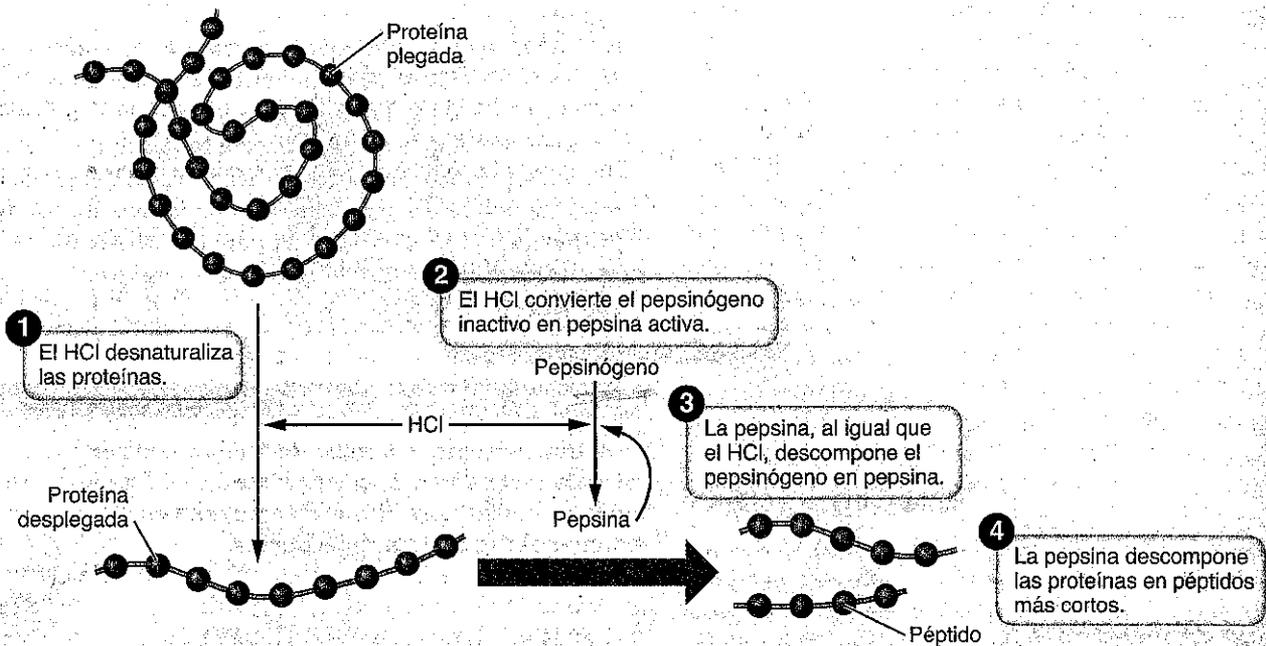
Apuntes sobre el caso

14-9 La medicación anterior de Margot tenía un recubrimiento entérico, que se disuelve sólo en un entorno alcalino. ¿Se disolvería esta capa en el estómago? Argumente su respuesta.

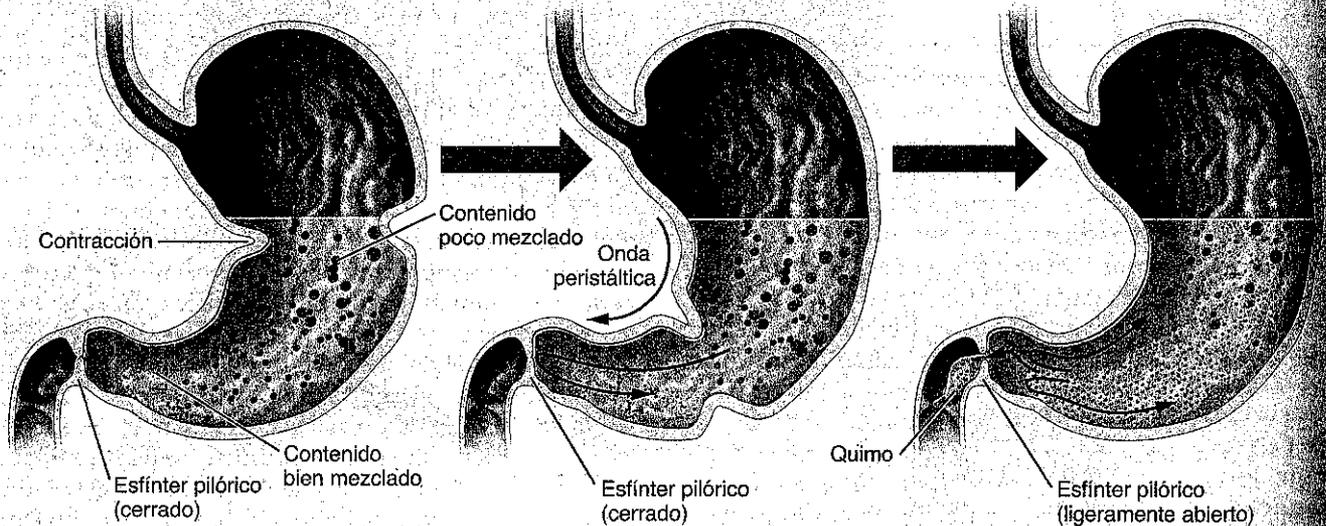
La muscular externa digiere los alimentos mecánicamente

La muscular externa participa en la digestión mecánica (maceración) mediante la generación de fuertes ondas peristálticas (fig. 14-15 B) que son automantenidas, algo así como las del nodo sinusal del corazón. Se mueven a través de la pared gástrica cada pocos minutos, comenzando muy débilmente en el fundus y ganando fuerza a medida que avanzan hacia el píloro. Al igual que en una secadora de ropa, las ondas voltean la comida, exponiendo completamente sus proteínas al ácido y la pepsina para la digestión química. Con cada onda, el esfínter pilórico se relaja un poco y permite temporalmente que entre en el duodeno un pequeño volumen de contenido gástrico. En el estómago, los alimentos se maceran en trozos más pequeños, hasta que entran en el duodeno, en forma de pulpa cremosa llamada quimo (del griego *khumos* = «jugo»).

No obstante, la mayor parte del contenido del estómago se retiene para voltearlo y continuar la digestión. Esto es importante: el quimo que sale del estómago está lleno de material alimenticio disuelto; por lo tanto, es hipertónico y altamente ácido. Si se libera con demasiada rapidez, la acidez puede destruir el revestimiento del duodeno, produciendo una úlcera duodenal. Además, la fuerza osmótica de la glucosa y otros solutos de una gran cantidad de quimo atraería un gran volumen de agua, más de lo que el intestino podría manejar. El resultado sería diarrea, y mala digestión y malabsorción. Esto tiene implicaciones clínicas, por ejemplo, algunas técnicas quirúrgicas, especialmente por cáncer, requieren la extirpación de la parte inferior del estómago y del esfínter pilórico, y la conexión del intestino delgado directamente a la curvatura mayor del estómago. Este tipo de «derivación gástrica» elimina la liberación lenta y medida del quimo a través del esfínter pilórico hacia el intestino delgado. Como resultado, estos pacientes pueden sufrir el «síndrome de *dumping*», en el que el gran volumen de quimo que entra en el intestino atrae el agua y causa diarrea osmótica poco tiempo después de comer.



A Digestión química en el estómago



B Digestión mecánica en el estómago

Figura 14-15. Funciones del estómago. A) Las secreciones de las células parietales y principales inician la digestión de las proteínas. B) Las tres capas de la muscular externa se contraen para mezclar el contenido del estómago y expulsar pequeñas cantidades hacia el duodeno. ¿Qué sustancia desnatura las proteínas, el ácido clorhídrico o la pepsina?

Examen sorpresa

14-22 ¿Qué esfínter es más superior, el esfínter pilórico o el esofágico inferior?

14-23 Indique la capa muscular del estómago que está más próxima a la mucosa.

14-24 ¿Secretan las células principales pepsinógeno o pepsina?

14-25 Las células G ¿son endocrinas o exocrinas? Argumente su respuesta.

14-26 ¿Qué tipo de movilidad se produce en el estómago: segmentación o peristaltismo?

14-27 Indique dos sustancias capaces de convertir el pepsinógeno en pepsina.

Intestino delgado, hígado y páncreas

Al salir del estómago, el quimo entra en la luz del intestino delgado, donde se produce la digestión química con la ayuda de las secreciones del *páncreas* y el *hígado*. Estos órganos accesorios son órganos complejos y también tienen funciones no digestivas; se comentan en el ➡ capítulo 15. Aquí sólo se consideran sus funciones digestivas.

Anatomía del intestino delgado

El **intestino delgado** es un tubo contorneado de aproximadamente 2,5 cm de diámetro. En una persona viva mide unos 3 m de largo, pero la relajación del músculo liso que se produce con la muerte alarga el tubo a unos 6 m (los comentarios siguientes se refieren a mediciones *in vivo*). El intestino delgado comienza en el extremo distal del estómago en el esfínter pilórico y termina donde se une al colon en la *válvula ileocecal*.

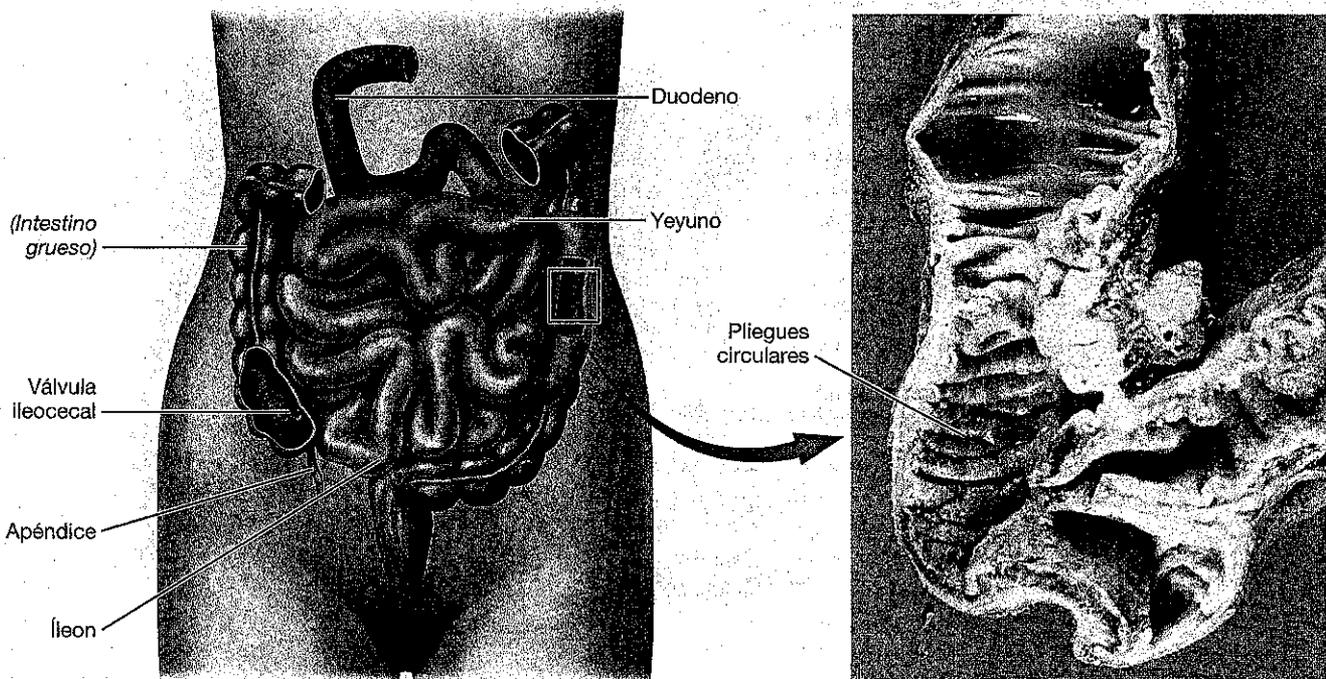
El intestino delgado está formado por el duodeno, el yeyuno y el íleon

El intestino delgado comprende tres partes principales que, de proximal a distal, son el *duodeno*, el *yeyuno* y el *íleon* (fig. 14-16).

El **duodeno** (del latín *duodeni* = «en doce», se llama así porque tiene unos 12 dedos de largo o 25 cm) es el segmento inicial, más corto. Se extiende en un arco en forma de C desde el esfínter pilórico, alrededor de la cabeza del páncreas, hasta unirse con el yeyuno. Inmediatamente distal al esfínter del píloro, el duodeno se flexiona hacia atrás, sale de la cavidad peritoneal y entra en el retroperitoneo, que sirve para fijarlo en su lugar. El duodeno se especializa en la digestión química y la absorción.

El **yeyuno** tiene aproximadamente 1 m de largo (del latín *jejunos* = «en ayunas», porque los antiguos solían encontrar el yeyuno vacío al producirse la muerte). El punto donde termina el duodeno y comienza el yeyuno suele considerarse el lugar en que el intestino sale del espacio retroperitoneal y vuelve a entrar en la cavidad peritoneal. En este punto, el intestino se vuelve menos fijo por el mesenterio y es mucho más móvil. El yeyuno se especializa en la absorción de nutrientes.

Aún menos precisa es la transición desde el yeyuno a la parte final del intestino delgado, el **íleon** (del latín *ilia* = «entrañas»). Las dos regiones se unen para formar estructuras parecidas a rollos de salchichas que se retuercen en la cavidad abdominal como serpientes en un pozo. El íleon tiene alrededor de 2 m de largo y desemboca en el colon a través de la *válvula ileocecal*, una válvula unidireccional. El íleon absorbe los nutrientes que quedan en el quimo. También absorbe las *sales biliares*, factores importantes en la digestión de las grasas, que se comentarán más adelante.



A Segmentos del intestino delgado

B Pliegues circulares del intestino delgado

Figura 14-16. Anatomía macroscópica del intestino delgado. A) El intestino delgado está formado por tres segmentos. B) Los pliegues circulares son claramente visibles en esta fotografía procedente de un cadáver. Cuando el quimo pasa del intestino delgado al intestino grueso, ¿a través de qué válvula pasa?

La pared del intestino delgado

Desde dentro hacia fuera, las capas del intestino delgado son similares a las de otras partes del tracto intestinal: una mucosa revestida por células epiteliales, una submucosa

que contiene vasos sanguíneos, linfáticos y placas linfoides, una pared de músculo liso y la más externa, una serosa de peritoneo visceral (fig. 14-17). Sin embargo, la anatomía de la mucosa del intestino delgado es característica con el fin de maximizar la superficie de absorción.

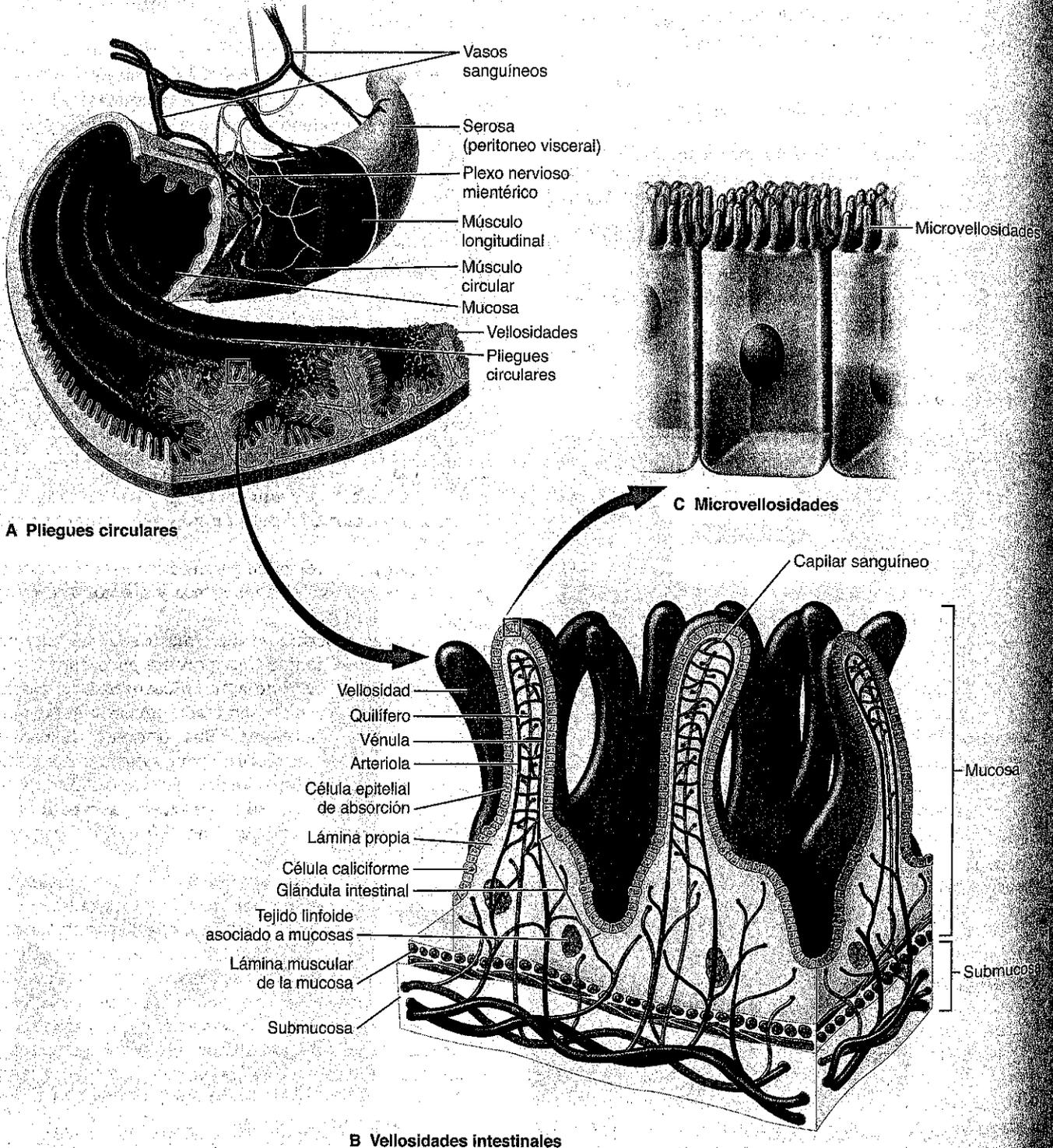


Figura 14-17. Anatomía interna del intestino delgado. A) La mucosa y submucosa se proyectan en pliegues circulares. B) Cada pliegue contiene muchas vellosidades. C) La membrana plasmática de las células de absorción de cada vellosidad forma las microvellosidades. ¿Qué vaso en B es parte del sistema linfático?

Aunque en la luz del intestino delgado se produce la digestión química y enzimática, la absorción de nutrientes se produce a través de la mucosa. Así como la estructura en panal de abejas de los alvéolos de los pulmones contiene suficiente membrana respiratoria en el tórax para cubrir el suelo de un garaje para cuatro coches, la mucosa del intestino delgado proporciona varias veces esa superficie para la absorción de nutrientes en sus 3 m de largo.

En primer lugar, la mucosa y submucosa se proyectan en **pliegues circulares**, como calcetines arrugados en el tobillo (fig. 14-17 A). Estos pliegues siguen en espiral a lo largo del intestino delgado y, conforme el quimo se arrastra sobre ellos, el intestino se enrosca en torno a los mismos, lo que retrasa el tránsito. Esto aumenta el tiempo y la exposición para la absorción.

En segundo lugar, el epitelio de revestimiento de cada pliegue forma innumerables pequeñas **vellosidades** filiformes, que le confieren una textura aterciopelada que multiplica de forma considerable la superficie (fig. 14-17 B). Internamente, cada vellosidad tiene un núcleo central que contiene un asa vascular: una arteriola entrante y una vénula saliente, comunicadas por los capilares. Los nutrientes no lipídicos pasan a la sangre a través de estos capilares. El núcleo de cada vellosidad contiene un **conducto quilífero** o **lácteo**, un capilar linfático de extremo romo dedicado a la absorción de lípidos.

Cada vellosidad está recubierta por una única capa de células cilíndricas altas, apretadas unas a las otras. La mayoría de ellas son las **células epiteliales de absorción** que, como su nombre indica, absorben los nutrientes. La superficie de cada célula de absorción está multiplicada por los cientos de **microvellosidades** microscópicas que se proyectan desde la membrana celular hacia la luz (fig. 14-17 C). Cuando se observan bajo microscopio, la superficie de absorción se parece a las cerdas de un cepillo, por lo que se le llama el **borde en cepillo** y las enzimas digestivas especiales de las microvellosidades reciben el nombre de **enzimas del borde en cepillo**. Las membranas de las células epiteliales de absorción también contienen muchas proteínas transportadoras que participan en la absorción de nutrientes. Intercaladas entre las células de absorción se encuentran las células calciformes, que proporcionan el moco para lubricar y diluir el quimo.

Entre las vellosidades, el epitelio penetra hacia abajo en la submucosa para formar las tortuosas **glándulas intestinales**, que secretan una mezcla fina de agua y moco (**jugo intestinal**) que se mezcla con el quimo y aumenta su fluidez. Las glándulas intestinales del duodeno (también llamadas **glándulas duodenales** o **de Brunner**) son particularmente importantes, ya que sus secreciones cargadas de moco son alcalinas y ayudan a neutralizar el ácido gástrico. Tenga en cuenta que las glándulas intestinales, a diferencia de las glándulas gástricas, no secretan enzimas digestivas.

Además de las células de absorción y las calciformes, las glándulas intestinales también contienen células endocrinas. Estas células producen **secretina** y **colecistocinina** (v. más adelante) y otras hormonas que tienen un efecto en el proceso digestivo.

Apuntes sobre el caso

14-10 Como parte del estudio de investigación, un cirujano toma una biopsia de intestino delgado de Margot y aísla la capa que contiene las enzimas del borde en cepillo. ¿Estas enzimas son producidas por las glándulas intestinales o por las vellosidades?

El páncreas secreta jugos digestivos

El páncreas es un órgano carnoso de color pardusco de unos 13 cm a 14 cm de largo localizado en el retroperitoneo, detrás del estómago y por delante de la aorta y la vena cava inferior. Tiene forma de renacuajo, descansando su cabeza en la curva en forma de C del duodeno (fig. 14-18 A). Su cola se localiza por delante del riñón izquierdo y medial al bazo. El páncreas contiene dos tipos de glándulas (cap. 3): las endocrinas, que secretan hormonas pancreáticas hacia la sangre, y las exocrinas, que secretan el jugo pancreático en los conductos que drenan en el duodeno.

El tejido endocrino del páncreas constituye menos del 1% de la masa pancreática. Está disperso en miles de pequeños islotes de tejido llamados **islotes pancreáticos** (islotes de Langerhans). Las hormonas de los islotes pancreáticos regulan la glucosa en sangre, entre otras cosas. La insulina, por ejemplo, se libera desde los islotes pancreáticos a medida que aumenta la glucosa en sangre. Las funciones hormonales del páncreas se comentan en el capítulo 15.

La mayor parte del tejido pancreático está formado por **glándulas exocrinas** llamados **acinos** y sus conductos asociados (fig. 14-18 B).

El páncreas exocrino produce más de 1 l de jugo pancreático al día, un líquido transparente poco espeso compuesto principalmente de agua, bicarbonato y enzimas digestivas. El bicarbonato, secretado por las células epiteliales que recubren los conductillos pancreáticos, hace que el jugo pancreático sea alcalino para ayudar a neutralizar la acidez del quimo que sale del estómago. Además crea un ambiente favorable para las enzimas pancreáticas, que funcionan mejor en el pH alcalino (8,0-8,3) del jugo pancreático.

Las células acinares secretan un cóctel de enzimas digestivas (v. tabla 14-3) para descomponer los nutrientes ingeridos. Algunas de estas enzimas se secretan en forma de enzimas inactivas (zimógenos), que se activan en el intestino delgado después de su secreción. Esto es particularmente importante en el caso de las enzimas que digieren las proteínas, ya que si no se secretasen de forma inactiva, digerirían el conducto pancreático y el propio páncreas antes de llegar al intestino. Sin embargo, a veces las cosas van mal, por ejemplo, cuando un tumor obstruye el conducto pancreático, se eleva la presión en el conducto y los zimógenos escapan hacia los espacios entre las glándulas. Esto convierte a los zimógenos en enzimas activas, que comienzan a digerir el propio páncreas y esto, a su vez, provoca fuga de más de zimógenos. Se inicia un círculo vicioso cu-

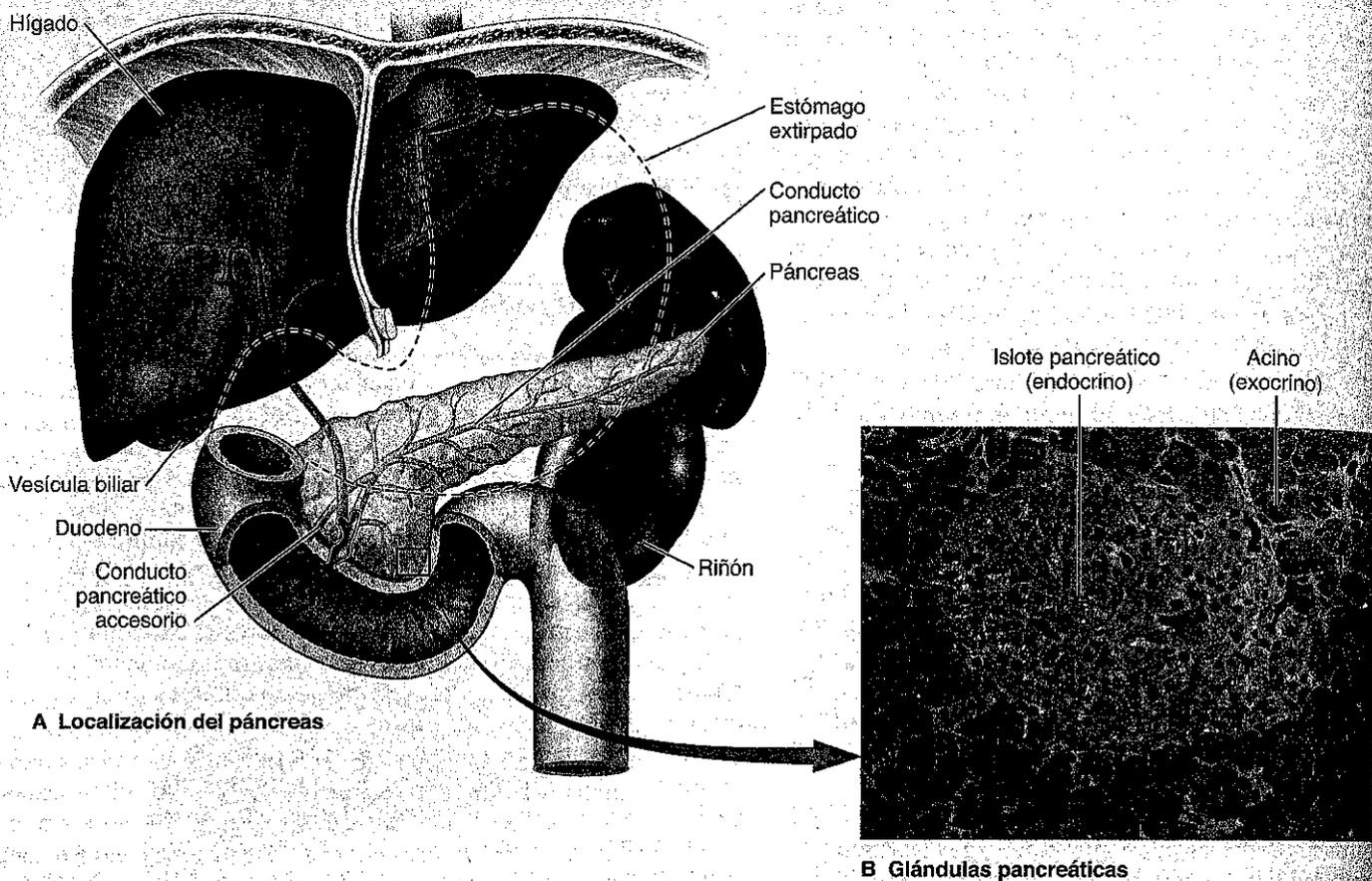


Figura 14-18. Páncreas. A) El páncreas está situado inferior al estómago. B) El páncreas exocrino está formado por acinos de células secretoras que desembocan en los conductos. ¿Cómo se llaman las partes exocrinas del páncreas?

yo resultado es la pancreatitis, una enfermedad grave que puede ser mortal.

El jugo pancreático viaja a través de una red ramificada de conductos que se unen para formar un conducto central, el **conducto pancreático**, que desemboca en el duodeno (fig. 4-18 A). Un conducto más pequeño, el **pancreático accesorio**, también transporta jugo de los canales del páncreas hacia el duodeno.

Apuntes sobre el caso

14-11 La producción de leche de soja precisa una ebullición exhaustiva para destruir inhibidores de la proteasa presentes en la soja. Siendo una adolescente consciente de su salud, Margot consumía grandes cantidades de leche de soja sin procesar. Estudie la tabla 14-3. ¿Cuáles de esas enzimas se inhibirían y dónde se producen?

El hígado secreta bilis

El **hígado** es mucho más que un accesorio del aparato digestivo; es sin duda el rey de los órganos del metabolismo.

Procesa todos los nutrientes que se absorben en el intestino, una función que se comenta en el capítulo 15. Aquí hablaremos sólo de su función digestiva, que es secretar la **bilis**, un líquido que contiene las **sales biliares**. Las **sales biliares** son sustancias químicas relacionadas con el colesterol que **emulsionan** las grasas; rompen los glóbulos grandes de grasa en pequeñas gotas, con lo que se facilita el contacto con las enzimas digestivas.

El hígado es un órgano carnoso rojizo muy vascularizado, sólo superado en tamaño y peso por la piel. Pesa de promedio 1,4 kg (fig. 14-19). Se encuentra debajo de la mitad derecha del diafragma, escondido por seguridad bajo la parrilla costal derecha, aunque una pequeña parte se extiende a la izquierda de la línea media.

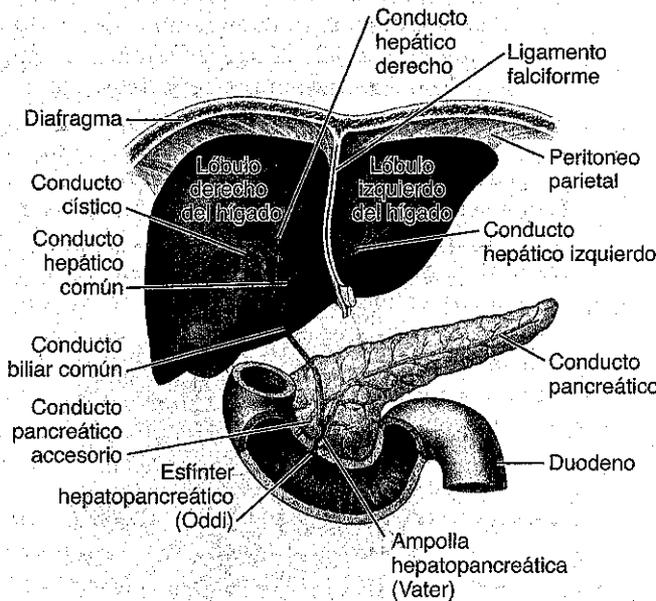
Visto desde el exterior, el hígado tiene cuatro lóbulos. Sin embargo, internamente es uniforme y sin límites entre lóbulos. Con mucho, el más grande es el **lóbulo derecho** que está a la derecha de la línea media. El **lóbulo izquierdo** tiene aproximadamente la mitad del tamaño del derecho y se extiende a través de la línea media para formar el lado izquierdo estrecho (fig. 14-19 A). En la superficie inferior, cerca de la línea media, hay dos pequeños lóbulos, el **cuadrado**, que es posterior, y el **caudado**, es anterior y yace medial a la vesícula biliar (fig. 14-19 B).

¡Recuerde! Puede ver la diferencia entre las grandes gotas de lípidos y una emulsión en una botella de aderezo de ensalada con aceite y vinagre. La botella sin agitar contiene una gran capa de lípidos que cubre una capa acuosa de vinagre. Si se agita fuerte, especialmente con la presencia de un emulsionante como la mostaza, la gota grande se rompe en muchas gotas más pequeñas.

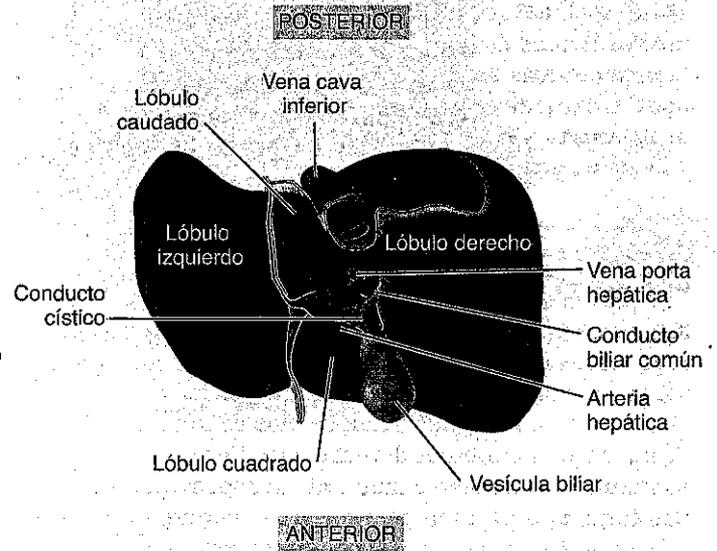
El hígado está suspendido del diafragma por el **ligamento falciforme** (del latín *falx* = «hoz»), que se encuentra en la línea media (fig. 14-19 A). Este ligamento divide los lóbulos

derecho e izquierdo y tiene forma de arco, como una hoja curva sobre la superficie anterosuperior del hígado. Con la excepción de una placa redonda en el centro de la parte superior, donde el ápice del hígado toca el diafragma, el hígado está cubierto en su totalidad por el peritoneo.

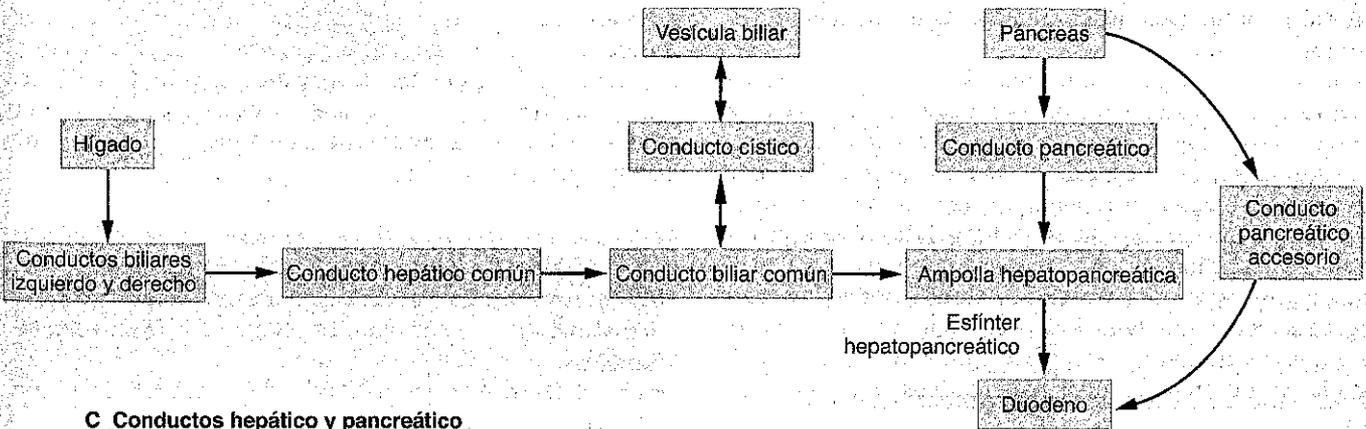
Recuerde de la lámina 11-3 que el hígado y el tracto digestivo participan en la **circulación portal hepática**, en la que intervienen dos lechos capilares. Las venas que regresan desde el tubo digestivo, el páncreas y el bazo se fusionan para formar la **vena porta hepática**, que no se une a la vena cava inferior. Por el contrario, se divide en una red de capilares permeables en el hígado, que permiten a las células hepáticas procesar los nutrientes recién absorbidos. Por lo tanto, el hígado tiene un doble suministro de sangre (fig. 14-19 B). La **arteria hepática** lleva la sangre oxigenada desde el tronco celiaco de la aorta. La **vena por-**



A Hígado y páncreas, vista frontal



B Hígado y vesícula biliar, vista inferior



C Conductos hepático y pancreático

Figura 14-19. Hígado, vesícula biliar y páncreas. A) Relaciones anatómicas entre el hígado, la vesícula biliar y el páncreas. B) Esta vista inferior muestra dos lóbulos hepáticos adicionales más pequeños y muchos vasos que se unen en la parte inferior del hígado. C) Flujo de bilis y de jugos pancreáticos. Tenga en cuenta que la bilis puede fluir por el conducto cístico en ambas direcciones. Indicar el ligamento que separa los lóbulos derecho e izquierdo del hígado.

ta hepática (o más habitualmente, *vena porta*) aporta sangre cargada de nutrientes desde los capilares intestinales. Las **venas hepáticas** devuelven toda la sangre del hígado a la vena cava inferior.

La vesícula biliar almacena la bilis

La **vesícula biliar** es un «contenedor» de bilis. Es un saco con forma de lágrima de paredes finas suspendido de la cara inferior del hígado (fig. 14-19 B). Es un poco más grande que una pelota de golf y puede almacenar aproximadamente 50 ml de bilis hasta que ésta sea necesaria para emulsionar las grasas. Después de realizar su función digestiva, las sales biliares de la bilis son absorbidas por el íleon y regresan de inmediato al hígado a través de la vena porta, donde se secretan de nuevo a la bilis.

Apuntes sobre el caso

14-12 Al igual que muchos fármacos, los medicamentos de Margot eran procesados por el hígado después de su absorción desde el intestino hacia el torrente sanguíneo. ¿Qué vaso transportaría inicialmente el fármaco al hígado, la arteria hepática o la vena porta?

Las secreciones hepáticas y pancreáticas drenan en el duodeno

Existe un intrincado sistema de conductos que traslada la bilis entre el hígado, la vesícula y el duodeno; también llevan el jugo pancreático desde el páncreas hasta el duodeno (fig. 14-19 C). El hígado produce bilis continuamente, que drena desde los lóbulos derecho e izquierdo a los conductos hepáticos derecho e izquierdo, respectivamente. Estos dos conductos se unen para formar el **conducto hepático común**, y éste lo hace con el **conducto cístico** (que conecta a la vesícula biliar) para formar el **conducto biliar común** o colédoco. El conducto hepático común se une posteriormente al conducto pancreático para formar la muy corta **ampolla hepatopancreática** (también llamada la *ampolla de Vater*).

Una banda circular de músculo liso, el **esfínter hepatopancreático** o de Oddi, controla la entrada de la bilis y de los jugos pancreáticos desde la ampolla hacia el duodeno. Este esfínter se cierra cuando no es necesaria la bilis, por lo que la bilis recién producida discurre por el conducto cístico para almacenarse en la vesícula biliar. Las señales que se comentarán más adelante hacen que se contraiga la vesícula y se relaje el esfínter, liberando la bilis y el jugo pancreático en el duodeno. Existe un conducto secundario, el conducto pancreático accesorio, que evita pasar por la ampolla para drenar los jugos pancreáticos en el duodeno.

Anatomía microscópica del hígado

La principal célula funcional del hígado es el **hepatocito**. La unidad funcional básica del hígado es el **lobulillo hepático**, un tubo cilíndrico de hepatocitos que rodean una

vena. Cada uno de ellos tiene unos pocos milímetros de largo y aproximadamente 1 mm de diámetro (fig. 14-20 A). El hígado contiene de promedio de 50 000 a 100 000 lobulillos. Los límites de cada lobulillo hepático están marcadas por **triadas portales**, que consisten en:

- Un conducto biliar muy pequeño del sistema de conductos del hígado.
- Una vénula, rama de la vena porta que transporta la sangre desde el intestino.
- Una arteriola, rama de la arteria hepática que transporta la sangre desde la aorta.

Cada triada portal sirve a más de un lobulillo adyacente. Cada lobulillo está constituido por láminas de hepatocitos de dos células de espesor, que irradian hacia fuera desde una **vena central**, como los radios de una rueda (fig. 14-20 A y B). Entre los hepatocitos individuales existen **canalículos biliares**, pequeños tubos en los que se secreta inicialmente la bilis. Entre las láminas de hepatocitos se encuentran los **sinusoides hepáticos**, capilares de gran tamaño y permeables que llevan una mezcla de sangre venosa portal y sangre arterial hepática. La sangre portal contiene nutrientes y toxinas procedentes del intestino que deben ser procesados y/o almacenados en el hígado. La sangre arterial hepática proporciona a los hepatocitos el oxígeno y las grasas para su procesamiento. Los macrófagos hepáticos, conocidos como **células de Kupffer**, colonizan los sinusoides hepáticos. Limpian la sangre portal de las bacterias intestinales y de otras materias extrañas.

La sangre arterial y la portal se fusionan y fluyen *hacia el interior* del centro del lobulillo a través de los sinusoides antes de desembocar en las venas centrales. Estas venas se unen a continuación a las venas hepáticas, que drenan en la vena cava inferior. La bilis, sin embargo, fluye en dirección opuesta, *hacia fuera* de los canalículos biliares en dirección a los conductos biliares para finalizar en la vesícula biliar o el duodeno. Los conductos biliares se unen y salen de la superficie inferior del hígado como conducto hepático común.

El endotelio de los sinusoides hepáticos tiene poros muy grandes entre las células endoteliales adyacentes, que permiten que las proteínas y otras moléculas grandes pasen libremente entre la sangre y el hepatocito (fig. 14-20 C). Los sinusoides están separados de los hepatocitos por un delgado **espacio perisinusoidal**, que conecta con los vasos linfáticos hepáticos.

¡Recuerde! Los hepatocitos absorben los nutrientes desde y secretan proteínas hacia los sinusoides, y secretan la bilis en los canalículos biliares.

Los sistemas vascular y linfático vascular son únicos

El flujo linfático y el flujo sanguíneo hepático son únicos por dos razones.

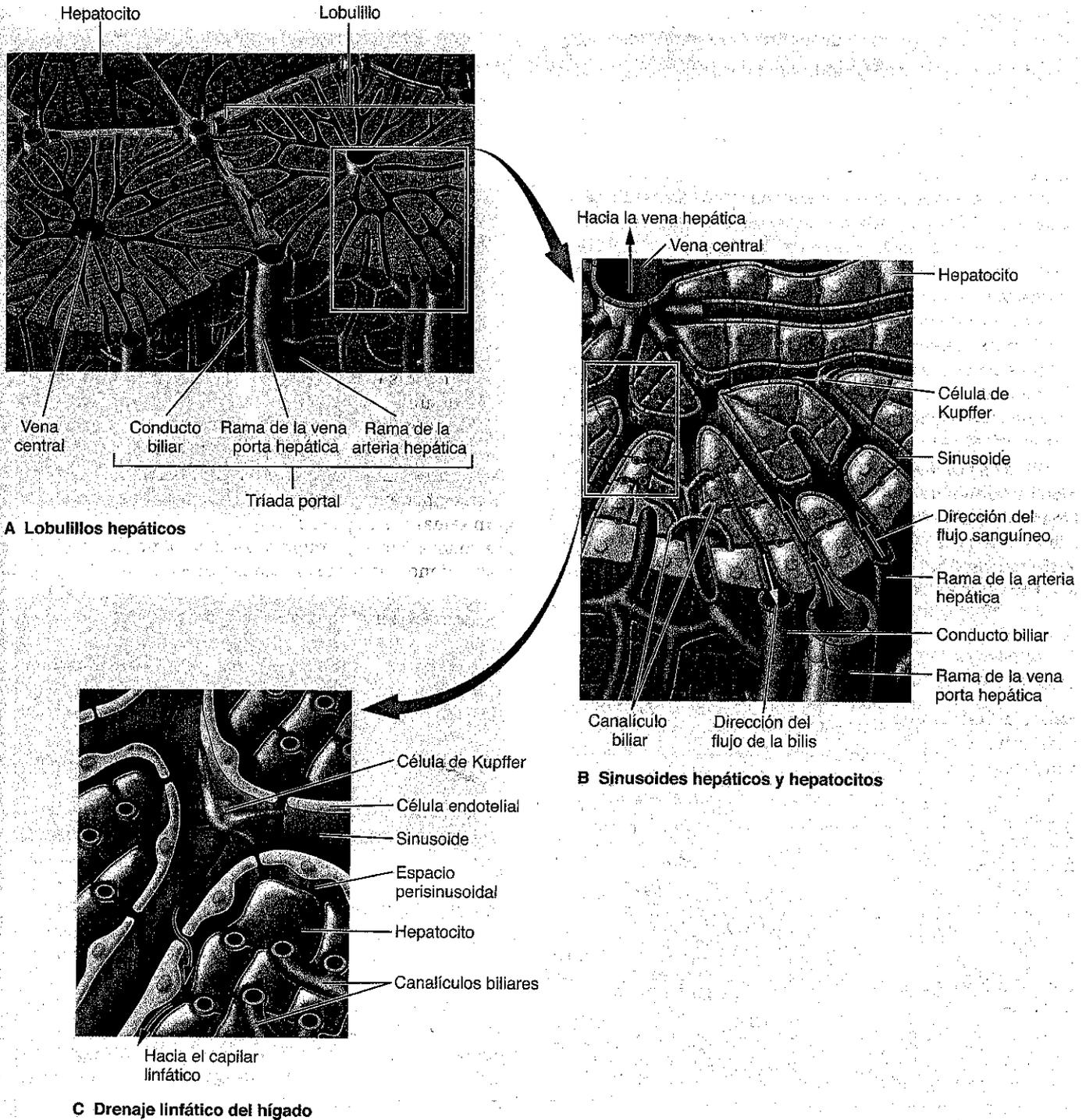


Figura 14-20. Lobulillos hepáticos. A) Cada lobulillo hepático rodea una vena central. B) Cada hepatocito está en contacto estrecho con un sinusoides y un canaliculo biliar. C) Los grandes espacios entre las células endoteliales sinusoidales permiten el libre paso de las proteínas. ¿Qué vasos transportan líquido hacia la triada portal, los canaliculos biliares o los sinusoides?

En primer lugar, cerca de la mitad de la linfa del cuerpo se forma en el hígado. Los poros de gran tamaño entre las células endoteliales sinusoidales permiten que las proteínas de la sangre y otras moléculas grandes puedan entrar en el espacio perisinusoidal junto al agua que les sigue. Esta mezcla de proteínas, agua y otras sustancias se con-

vierte en la linfa cuando desemboca en los vasos linfáticos hepáticos.

En segundo lugar, en un momento dado, el hígado tiene un volumen relativamente grande de sangre, alrededor de una décima parte del volumen total de sangre. Además, los sinusoides hepáticos son distensibles y contráctiles, y pue-



INSTANTÁNEA CLÍNICA

Cirrosis hepática

Desde el intestino fluye una gran cantidad de sangre a través del hígado, y además en el hígado se forma un gran volumen de linfa. Cualquier factor que aumente la resistencia al flujo hepático de sangre o de linfa tiene, por tanto, un efecto grave en todo el sistema cardiovascular. La causa más común es la cirrosis hepática, una amplia formación de tejido cicatricial en el tejido hepático (incluidos los vasos sanguíneos y linfáticos) causada por lo general por alcoholismo crónico o por hepatitis crónica. (La palabra *cirrosis* deriva del griego *kirrhos* = «vinoso» o «amarillento», debido a que muchos hígados afectados tienen ese color, como en la ilustración adjunta.) El tejido cicatricial no funciona bien, especialmente en cicatrices tan extensas y graves como la de cirrosis. Esta cicatrización dificulta que la sangre que llega al hígado salga de éste a través de la vena hepática.

Dado que la sangre que llega al hígado debe volver a la vena cava por una vía u otra, la elevada resistencia vascular de la cirrosis desvía la sangre venosa por otras vías; a través del epiplón menor hacia las venas del estómago y el esófago, y a través de las venas de la parte inferior del recto y del ano. La elevada tasa de flujo que transcurre por esas venas hace que se dilaten formando varices (en singular variz y significa «dilatación de la vena»). En pacientes con cirrosis, habitualmente se encuentran varices en el esófago, la pared abdominal y el ano, donde aparecen las hemorroides. La hemorragia de las varices esofágicas es a menudo la complicación final y mortal de la cirrosis.

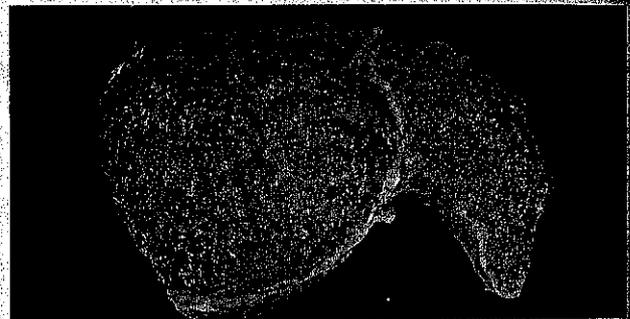
Otra complicación de la cirrosis es que la alta presión venosa portal fuerza más líquido hacia el espacio presinusoidal, lo que a su vez aumenta el flujo linfático y la presión de la linfa. Parte de esta linfa a alta presión rezuma de la superficie del hígado hacia la cavidad abdominal, donde se acumula como líquido (**ascitis**, del griego *askos* = «bota de vino» porque el vientre hinchado de los pacientes con ascitis se asemeja a una bota de vino llena).

den almacenar o liberar la sangre cuando sea necesario. Por ejemplo, en los casos de hemorragia grave, los sinusoides se contraen para movilizar la sangre desde el hígado a la circulación general.

La importancia del flujo sanguíneo venoso portal y la formación de la linfa se pone de relieve cuando éstos se ven afectados por una grave producción de tejido cicatricial en el hígado; es decir, en la cirrosis. En la Instantánea clínica titulada «Cirrosis hepática» se obtiene más información.



A



B

Cirrosis. A) Hígado normal. B) Cirrosis. Obsérvese el pequeño tamaño del hígado cirrótico.

La mayor parte de la digestión química y de la absorción se produce en el intestino delgado

En el momento en que los alimentos salen del estómago entran en el intestino delgado, son una mezcla semilíquida de las partículas de alimentos, ácido y enzimas digestivas (quimo). Aunque en la boca se produce una cantidad limitada de la digestión química con la adición de la amilasa salival y en el estómago con la adición del ácido clorhídrico.

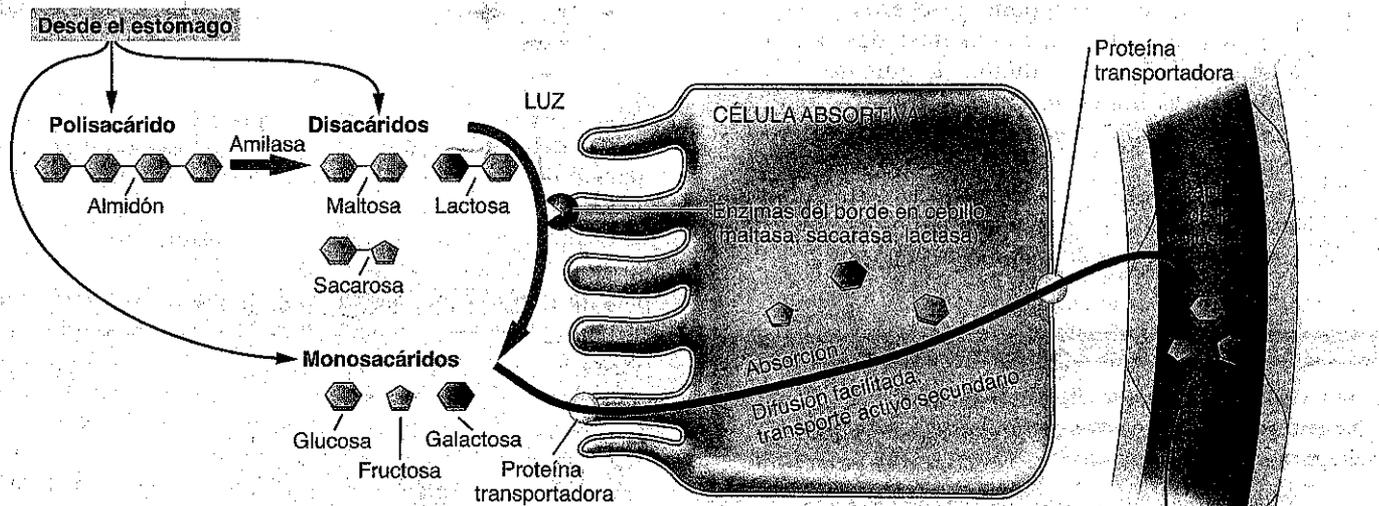
co y la pepsina, la digestión de la mayoría de los productos químicos se realiza en el intestino delgado.

Digestión y absorción en el intestino delgado

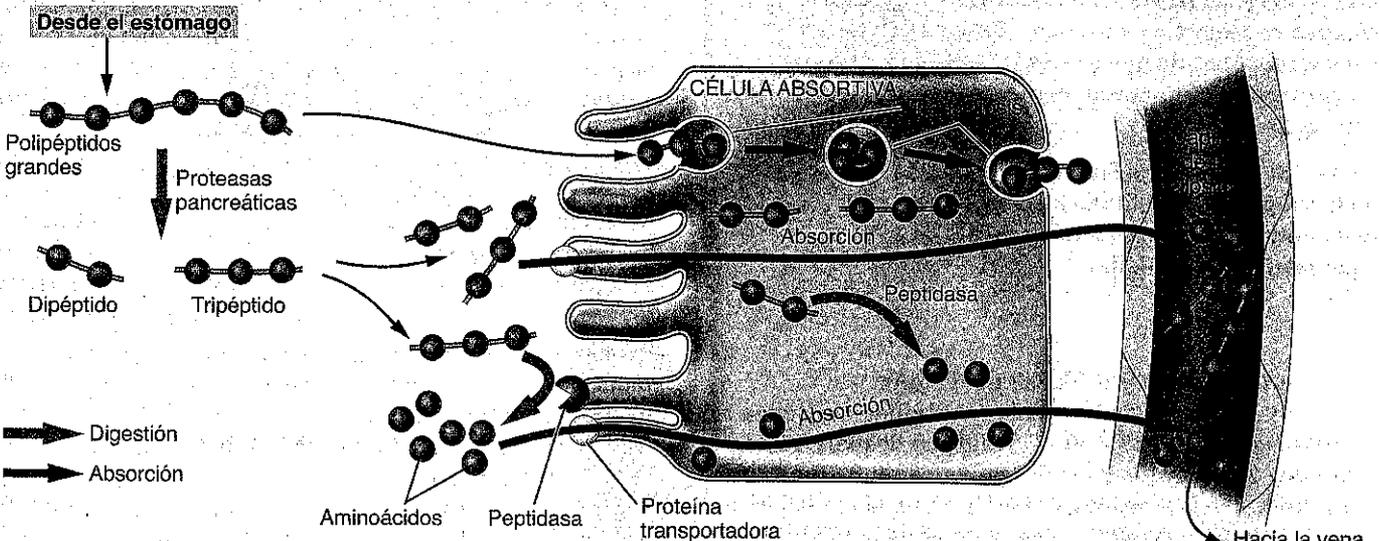
En el intestino hay dos tipos de enzimas digestivas: las *enzimas pancreáticas* y las *enzimas del borde en cepillo*. Las primeras se secretan en el intestino y hacen su trabajo en la luz intestinal mezclándose con el quimo. Sin embargo, las enzimas del borde en cepillo están incrustadas en las membranas de las células absorbivas y hacen su trabajo digestivo allí, no en la luz. El jugo intestinal añade muy poco

a los procesos químicos, pero asegura la fluidez y la alcalinidad del quimo, sin las que la digestión química sería mucho menos eficaz.

Recuerde del capítulo 3 que las sustancias se mueven a través de las membranas celulares por difusión simple, difusión facilitada, osmosis y transporte activo. Todos estos mecanismos participan en la absorción intestinal. Los nutrientes no lipídicos absorbidos entran en el sistema sanguíneo portal y se filtran a través del hígado, donde pueden utilizarse para determinados fines, o pasar a la circulación general. Los lípidos, sin embargo, son absorbidos por el sistema linfático intestinal y transportados a la sangre.



A Digestión y absorción de carbohidratos



B Digestión y absorción de proteínas

Figura 14-21. Digestión y absorción en el intestino delgado. A) Los carbohidratos se digieren en monosacáridos antes de la absorción. B) Las proteínas se digieren generalmente como péptidos pequeños o aminoácidos individuales antes de la absorción, aunque a veces pueden absorberse polipéptidos. ¿Qué forma de proteína es absorbida por transcitosis, los aminoácidos o los polipéptidos?

Digestión y absorción de los carbohidratos

Recuerde de la figura 14-1 que los carbohidratos se construyen a partir de tres componentes diferentes de monosacáridos. Las células intestinales pueden absorber solamente monosacáridos; por tanto, los polisacáridos y los disacáridos deben descomponerse. En la figura 14-21 A se muestra la digestión de los carbohidratos y su absorción en el intestino delgado.

La amilasa salival inicia la digestión de los carbohidratos en la boca. La amilasa pancreática continúa el trabajo, descomponiendo todas las moléculas de almidón en *maltosa*, un disacárido formado por dos moléculas de glucosa unidas. Las enzimas del borde en cepillo digieren los disacáridos en monosacáridos. Por ejemplo, la lactasa descompone la lactosa (azúcar de la leche) en galactosa y glucosa. La sacarasa descompone la sacarosa (azúcar de mesa) en fructosa y glucosa, y la maltasa descompone la maltosa en moléculas individuales de glucosa. Los monosacáridos que se ingieren, como la fructosa de la fruta y la glucosa de ciertos alimentos procesados, no necesitan digestión.

Todos los carbohidratos pasan desde las células epiteliales absorbivas hacia la sangre como monosacáridos. Éstos pueden ser captados por las células del cuerpo.

Apuntes sobre el caso

14-13 Margot no puede digerir la lactosa.

¿De qué enzima carece Margot y dónde se produce normalmente dicha enzima?

14-14 Como parte del estudio, se determinaron las concentraciones de glucosa en la sangre de Margot 30 min después de beber dos vasos de leche.

En una persona tolerante a la lactosa, las cifras de glucosa en sangre se elevarían. ¿Cree usted que las concentraciones de glucosa en la sangre de Margot aumentarán o permanecerán más o menos iguales? ¿Por qué?

14-15 Si se midiesen las concentraciones de glucosa en la sangre de Margot después de beber leche de soja, que contiene sacarosa en lugar de glucosa, ¿qué resultado esperaría?

Digestión y absorción de las proteínas

Recuerde que la digestión de las proteínas comienza en el estómago, donde el ácido clorhídrico desnaturaliza las proteínas y la pepsina y las descompone en pequeños polipéptidos. Las proteasas pancreáticas (p. ej., la tripsina y la quimotripsina) rompen estas cadenas de polipéptidos en cadenas más cortas, como dipéptidos, tripéptidos y polipéptidos cortos (fig. 14-21 B). A continuación otras enzimas, principalmente las del borde en cepillo, pueden separar los aminoácidos individuales de los extremos de las cadenas. El resultado es que la proteína digerida se absorbe generalmente en forma de aminoácidos y péptidos de cadena

corta. Los péptidos cortos pueden digerirse de forma adicional en aminoácidos en las células epiteliales, o pueden pasar intactos al torrente sanguíneo portal.

En ocasiones excepcionales, pueden absorberse péptidos de mayor tamaño intactos hacia el torrente sanguíneo, especialmente en los recién nacidos con inmadurez del sistema gastrointestinal. Pasan a través de las células por *transcitosis*, un mecanismo de transporte mediado por vesículas. Estos péptidos más grandes pueden actuar como *antígenos*, causando reacciones inmunitarias que pueden dar lugar a alergias a los alimentos. Un ejemplo son los polipéptidos de gran tamaño derivados de la proteína del trigo (gluten), que pueden absorberse intactos hacia el torrente sanguíneo del lactante. Puede dar como resultado una alergia al trigo. Para evitar esta situación, se aconseja a los padres que eviten dar trigo a los bebés antes de los 7 a 12 meses.

Digestión y absorción de los lípidos

Los lípidos representan un problema particular para el aparato digestivo debido a su naturaleza hidrófoba. Las moléculas de lípidos se acumulan en grandes *gotas de lípidos* que tienen una superficie comparativamente menor que muchas pequeñas gotas. Estas gotas reducen la superficie de contacto con el contenido intestinal acuoso, lo que restringe el acceso a las enzimas sólo las moléculas más periféricas. Antes de que pueda producirse una digestión eficaz, las sales biliares deben emulsionar las gotas grandes en varias pequeñas, lo que expone a todas las moléculas de lípidos al ataque enzimático (fig. 14-22, paso 1).

El objetivo particular de la lipasa son los triglicéridos la grasa más común de la dieta. La lipasa pancreática separa dos de los ácidos grasos y deja al tercero unido al glicerol (un monoglicérido) (paso 2). La mayoría de los otros tipos de grasa (como los ácidos grasos de cadena corta o el colesterol) pueden utilizarse para fines metabólicos sin necesidad de digestión posterior. Hay que tener en cuenta también que en la digestión de las grasas no hay participación de las enzimas del borde en cepillo.

Los productos de la digestión de las grasas son hidrófobos, como los triglicéridos originales, por lo que aún precisan la protección de las sales biliares en el intestino. Los monoglicéridos, ácidos grasos y parte del colesterol se agrupan en pequeñas **micelas** en forma de disco recubiertas por las sales biliares (paso 3). Los ácidos grasos y los monoglicéridos difunden desde la micela a través de la membrana de la célula absorbiva (paso 4). La mayor parte del colesterol no se absorbe de esta forma, sino que se transporta dentro de las células por una proteína transportadora especializada.

Una vez dentro de la célula, el retículo endoplasmático liso vuelve a unir los monoglicéridos y ácidos grasos libres en triglicéridos (paso 5). A continuación, los triglicéridos, las proteínas y el colesterol se agrupan en estructuras denominadas **quilomicrones** (paso 6) que, al igual que otras lipoproteínas, son gotas de lípidos envueltos en una capa de proteína. Después los quilomicrones son expulsados hacia el líquido extracelular por exocitosis.

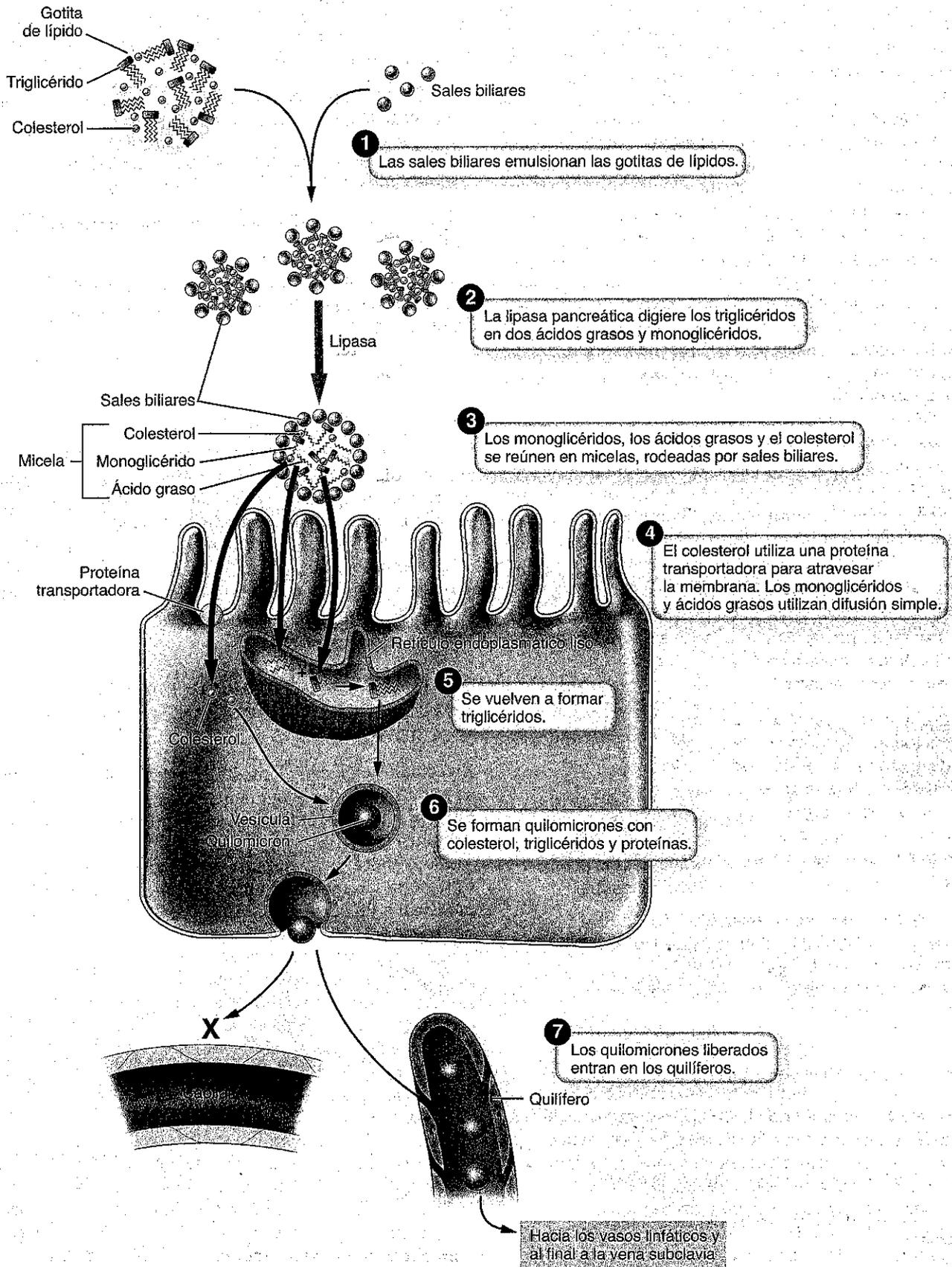


Figura 14-22. Digestión y absorción de los lípidos. La grasa de la dieta ha de ser emulsionada y digerida antes de ser absorbida en las células absortivas del intestino. *Las micelas se forman dentro de las células absortivas, ¿verdadero o falso?*

Los quilomicrones son demasiado grandes para pasar entre las células endoteliales de los capilares, pero puede deslizarse fácilmente por los vasos linfáticos quilíferos permeables (paso 7). A partir de ahí, viajan a través del sistema linfático y entran en la vena subclavia izquierda por el conducto torácico. Cuando los quilomicrones transportados por la sangre pasan a través de los tejidos adiposo o hepático, son capturados y se almacenan hasta que se necesitan como combustible o para otros fines.

Los ácidos grasos de cadena corta escapan de los quilomicrones y se difunden por la sangre intestinal, que posteriormente entra en la circulación portal. Todos los otros lípidos, que entraron en la linfa, evitan la sangre portal y el hígado y entran directamente a la circulación general.

La mayoría de las sales biliares se reabsorben de forma activa hacia circulación portal en el íleon. El hígado los «recicla» en la siguiente generación de bilis y los envía de nuevo al intestino.

Absorción de otras sustancias

La absorción de vitaminas es diferente. Por ejemplo, la vitamina B₁₂ se absorbe principalmente en el íleon y sólo puede hacerlo unida al factor intrínseco, como se explicó antes. Las vitaminas liposolubles como A, D, E y K se absorben con los lípidos hacia el sistema linfático y las hidrosolubles lo hacen por difusión hacia la sangre.

El intestino delgado absorbe directamente minerales. El agua se mueve desde la luz intestinal a las células absortivas y a continuación hacia la sangre.

Examen sorpresa

14-28 ¿Cuál es el segmento más corto del intestino delgado?

14-29 ¿Contiene el intestino delgado pliegues longitudinales o circulares?

14-30 ¿Qué forma parte de la membrana de una célula individual, las vellosidades o las microvellosidades?

14-31 ¿Qué solución contiene menor concentración de ácido, el jugo intestinal o el quimo gástrico?

14-32 ¿Qué órgano produce las enzimas digestivas, el hígado o el páncreas?

14-33 Verdadero o falso: la liberación de bilis está regulada, pero la síntesis de la bilis no.

14-34 ¿Qué conducto se forma por la unión del conducto biliar común con el conducto pancreático?

14-35 ¿Qué lóbulo del hígado es el más grande?

14-36 ¿Cómo es el suministro de oxígeno a los hepatocitos?

14-37 Indique los líquidos que fluyen a través de cada una de las siguientes estructuras del hígado: sinusoides, canaliculos y espacio perisinusoidal.

14-38 ¿Qué forma de nutrientes pueden ser absorbidos especialmente en los recién nacidos, cuando están sólo parcialmente digeridos, las proteínas o los carbohidratos?

14-39 ¿Qué enzima se encuentra en el borde en cepillo intestinal, la amilasa o la sacarosa?

14-40 ¿Qué tipo de nutrientes pueden absorberse por las células intestinales, los dipéptidos o disacáridos?

14-41 ¿Cuál es la diferencia entre una micela y una gota lipídica?

14-42 ¿Por qué la mayoría de las grasas se absorben en los vasos quilíferos en vez de en los capilares sanguíneos?

Intestino grueso

El intestino delgado se une al colon a través de la **válvula ileocecal**, una compuerta unidireccional que está cerrada la mayor parte del tiempo por el **esfínter ileocecal**, un anillo de músculo liso que rodea la válvula. De una forma similar a un signo de interrogación, el intestino grueso forma un círculo incompleto alrededor de los bordes del abdomen enmarcando en el centro al intestino delgado.

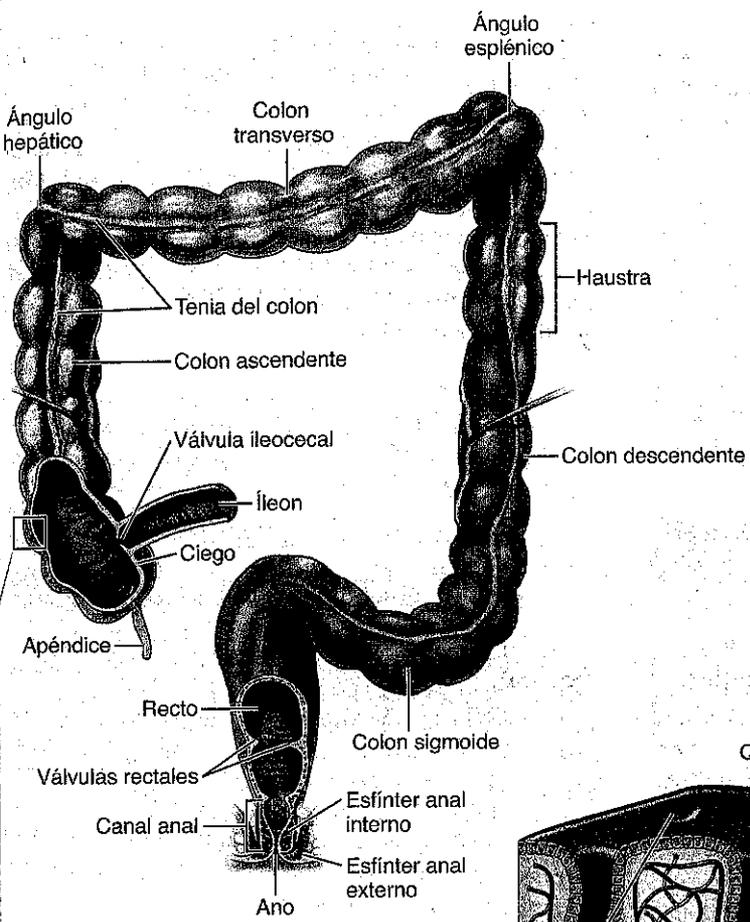
El intestino grueso está formado por el colon, el apéndice, el recto y el ano

En comparación con el intestino delgado, el intestino grueso es más corto, tiene un diámetro mayor y es mucho menos enrevesado. Tiene aproximadamente 1 m de largo y 6 cm de diámetro (*in vivo*).

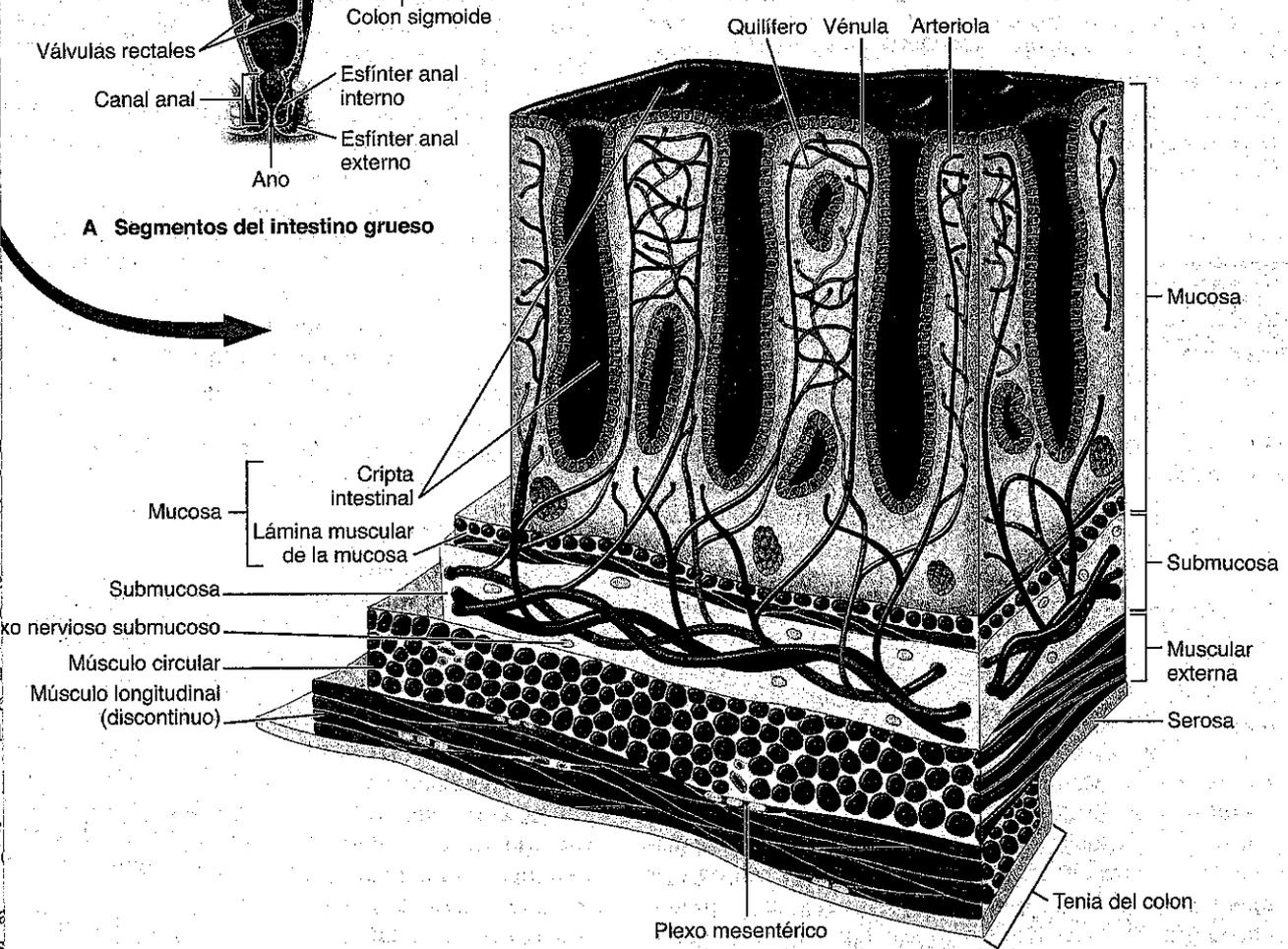
La primera parte del intestino grueso es el **colon**, que representa alrededor del 90% de su longitud. A su vez, de proximal a distal, el colon puede dividirse en cinco regiones (fig. 14-23 A):

1. El **ciego** se encuentra en el cuadrante inferior derecho del abdomen; es una zona un poco bulbosa del colon, la primera en recibir el quimo. Saliendo desde el ciego, cerca de la válvula ileocecal se encuentra un fondo de saco ciego en forma de gusano, el **apéndice**. En general, tiene alrededor de 5 cm a 6 cm de largo y 1 cm de diámetro y es intestino completamente formado con las capas habituales.
2. Desde el ciego, el colon se extiende verticalmente hacia arriba por el lado derecho del abdomen, como **colon ascendente**, también llamado **colon derecho**.
3. En el cuadrante superior derecho, debajo del hígado, el colon gira (el **ángulo hepático**) y discurre a través de la parte superior del abdomen, como **colon transverso**.
4. En el cuadrante superior izquierdo, cerca del bazo, el colon gira (el **ángulo esplénico**) y cae como **colon descendente**, también llamado **colon izquierdo**.

ser absorbi
do están s
s carbohidr
rde en cep
sorberse p
áridos?
cela y una
se absorbe
pilares
vés de la v
que está c
eocecal, un
na forma s
grosso for
les del abd
ado.
ado
ecto
el intestino
es mucho r
le largo y 6
es el color
itud. A su v
e en cinco
inferior de
lbosa del c
lo desde el
ntra un fon
rdice. En g
y 1 cm de d
ado con las
ticamente
n, como col
ho.
ajo del híga
rre a través
n transvers
erca del ba
mo colon de



A Segmentos del intestino grueso



B Pared del intestino grueso

14-23. Intestino grueso. A) El intestino grueso está formado por cinco segmentos. B) La pared del intestino grueso carece de pliegues y de una capa muscular longitudinal continua. ¿Cómo se llaman las bandas de músculo longitudinal?

5. En el cuadrante inferior izquierdo, el colon descendente da paso al *colon sigmoide* (de la letra griega *sigma* = «S»), un segmento de colon de unos 30 cm de largo un poco tortuoso que vacía en el recto.

Las partes finales del intestino grueso son el *recto* y el *canal anal*. El *recto* es un segmento de intestino corto vertical y relativamente recto en la línea media del cuerpo. Sirve como un punto final de retención de los contenidos intestinales antes de su evacuación y está en parte atravesado por tres pliegues de mucosa (*válvulas rectales*) que actúan para impedir el paso de materia sólida pero permitir que escapen los gases. La parte final y más corta (unos 2 cm) del intestino grueso es el *canal anal*, que termina con una abertura, el *ano* (del latín *anus* = «anillo»).

Apuntes sobre el caso

14-16 Margot se siente «hinchada» debido a las burbujas de gas que filtran a través de su intestino grueso. Cuando las burbujas se dirigen hacia el canal anal, ¿qué segmento de intestino encontrarán en primer lugar, el colon ascendente o el colon sigmoide?

En el intestino grueso, la capa muscular y la mucosa están modificadas

Las capas de la pared del intestino grueso son similares a las de otros segmentos gastrointestinales: mucosa, submucosa, muscular y serosa, pero difieren en algunos detalles.

La superficie de la mucosa es plana y carece de los pliegues y vellosidades del intestino delgado; sin embargo, está marcada por profundas *criptas* tubulares, la versión del colon de las glándulas intestinales (fig. 14-23 B). El epitelio de revestimiento está formado por células absortivas cilíndricas mezcladas con una gran cantidad de células caliciformes que secretan moco para asegurar el paso fácil de las heces compactadas. El ano, sin embargo, está revestido por epitelio escamoso estratificado (como la boca, la garganta y el esófago) con la finalidad de soportar la abrasión con el paso de las heces. El epitelio absortivo del colon prácticamente no contiene células secretoras de enzimas o de hormonas, ya que su función principal es sólo absorber el agua.

La submucosa del intestino grueso es similar a la del intestino delgado. Contiene vasos linfáticos y sanguíneos y placas de tejido linfóide.

La muscular está formada por una capa circular interna y una longitudinal externa, pero con una diferencia distintiva: la capa longitudinal externa está organizada en tres franjas paralelas, las **tenias del colon** (del griego *tainia* = «cintas») (fig. 14-23 A). Estas tiras acortan el colon, haciendo que se pliegue a los lados en amplias bolsas superficiales o **haustros**, que le confieren un aspecto nudoso.

Las tenias y las haustros están ausentes en el recto, donde hay capas gruesas completas de músculos circular

y longitudinal. El ano está rodeado por dos conjuntos de músculos, un anillo interno involuntario de músculo liso (el *esfínter anal interno*) y un anillo externo de músculo esquelético (el *esfínter anal externo*, fig. 14-23 A). Estos esfínteres se contraen para cerrar el ano y, como se describe más adelante, relajarlo para permitir la defecación (la expulsión de las heces).

La serosa del intestino grueso es similar a la serosa de las otras regiones del intestino, una capa delgada de células del peritoneo visceral.

Las principales funciones del intestino grueso son el almacenamiento y la propulsión

En el momento en que el quimo llega a la válvula ileocecal, casi todos los nutrientes ya han sido digeridos y absorbidos. La presión del quimo abre la válvula, lo que permite su entrada en el intestino grueso. Al entrar en el colon, el quimo se convierte en *heces*, que consisten en agua, materiales no digeribles de los alimentos (principalmente fibras), células epiteliales intestinales descamadas y grupos de bacterias y sus productos derivados. Muy poco queda de nutrientes utilizables. Las heces permanecen en el colon de 12 h a 24 h. En el colon ascendente, la materia fecal es semisólida, pero a medida que avanza hacia el recto, el epitelio del colon absorbe el agua y el peristaltismo la compacta en una masa pastosa.

Con frecuencia, perdido entre los titulares sobre el tabaquismo y el cáncer de pulmón, el cáncer de próstata en hombres y el cáncer de mama en las mujeres, está el cáncer de colon, que es la tercera causa más frecuente de muerte por cáncer en humanos. También es un hecho que el colon alberga más tumores, la mayoría benignos pero muchos malignos, que cualquier otro órgano interno. La alta tasa de mortalidad a causa de cáncer de colon es especialmente trágica porque este cáncer es más fácil de detectar en etapas iniciales que casi cualquier otro cáncer.

Las bacterias del colon

Cuando el quimo entra en el colon, quedan muy pocas bacterias ingeridas, el ácido gástrico, las enzimas intestinales o la actividad inmunitaria del tejido linfóide asociado a las mucosas ha destruido la mayoría de bacterias. Sin embargo, varios cientos de variedades de bacterias habitan el colon y viven en una relación beneficiosa mutua con el cuerpo. De hecho, cuando el bebé tiene sólo unas pocas semanas, las bacterias ya habitan su tracto intestinal. Estas bacterias están en constante reproducción y muerte, que están muertas representan aproximadamente la mitad de la masa seca de las heces.

Las bacterias desempeñan una función fundamental en la fisiología del colon. Metabolizan la bilirrubina, derivada de la descomposición de la hemoglobina, en un pigmento marrón que da a las heces su color característico. También producen cantidades significativas de vitamina K. Además, debido a su gran número, son una protección impor-

contra la infección: son tan numerosas y demandan tanto de la limitada oferta de nutrientes disponibles y de otros activos ambientales, que sólo una gran dosis infectiva de bacterias podría establecer un punto de apoyo. Probablemente, la ingestión de unas pocas bacterias patógenas no produciría infección.

Las bacterias también digieren la mucina y la pequeña cantidad de carbohidratos y proteínas absorbidos que quedan en la luz del colon, produciendo hidrogeniones y gases como subproductos. Algunos de los iones de hidrógeno entran al torrente sanguíneo y son expulsados con la respiración. Los gases se expulsan por el ano en forma de *flatos*; en un día pueden producirse hasta 500 ml de flatos. Un gran porcentaje de los flatos (su cuantía es discutible) proviene del aire que se traga. Algunas personas ingieren mucho, mientras que otras sólo un poco.

Apuntes sobre el caso

14-17 La intolerancia a la lactosa de Margot se detectó por la prueba de hidrógeno en el aliento. ¿Por qué estaban elevadas sus cifras de hidrógeno?

Motilidad del intestino grueso y defecación

La motilidad del intestino grueso se produce por *movimientos en masa*, grandes barridas peristálticas que impulsan el contenido decenas de centímetros a la vez. Los movimientos en masa son estimulados por dos factores:

- Llegada de los alimentos al estómago. Esta acción es refleja y se observa en la vida cotidiana por la frecuente necesidad de ir al baño poco después de comer.
- Llenado del intestino grueso.

Al final, las heces llegan al recto, donde se acumulan. El aumento de presión producido por la acumulación de las heces dilata el recto, activando el *reflejo de defecación*. La *defecación* es el paso de las heces a través del ano. El músculo liso longitudinal de la pared rectal se contrae, acortando el recto y aumentando la presión aún más en un bucle de retroalimentación positiva. Otro bucle del mismo reflejo produce la relajación del esfínter anal interno. La defecación se produce cuando la corteza cerebral relaja el esfínter anal externo.

Los hábitos intestinales son muy variables, de dos a tres evacuaciones por día a dos a tres por semana. El *estreñimiento* es la evacuación infrecuente o difícil, heces duras o una sensación de vaciamiento incompleto. La *diarrea*, sin embargo, es conocida por lo difícil que es de definir. Siempre se asocia con un exceso de agua en las heces y a veces se equipara con una única evacuación acuosa. Una definición médica estricta, y mucho menos sus causas, está fuera del alcance de este libro, aunque el tema se aborda brevemente en la revisión del caso práctico.

Examen sorpresa

14-43 ¿Qué parte del colon se vacía hacia el recto?

14-44 ¿Qué esfínter está bajo control voluntario, el esfínter anal externo o el interno?

14-45 El epitelio del colon no produce enzimas y los órganos accesorios no secretan en el colon. ¿Se produce alguna digestión química en el colon? Si es así, ¿cómo?

Regulación de la función gastrointestinal

El tracto GI tiene una efectividad en su trabajo de prácticamente el 100%; digiere y absorbe casi todos los alimentos utilizables que consumimos; por tanto, en las heces apenas hay nutrientes. Estos procesos están optimizados por la regulación estricta de los otros grandes procesos GI, *motilidad y secreción*.

Los sistemas endocrino y nervioso regulan la motilidad y la secreción

La motilidad y la secreción están reguladas por la superposición de actividades del sistema endocrino y del sistema nervioso.

Las vías de retroalimentación endocrina involucran a las hormonas gastrointestinales

El tracto GI produce muchas hormonas diferentes; se ha llamado la glándula endocrina más interesante del cuerpo. A diferencia de las células de las glándulas endocrinas tradicionales, como la hipófisis anterior, las células productoras de hormonas del tracto GI no están agrupadas. En cambio, las células endocrinas se encuentran dispersas por la mucosa intestinal. Sus secreciones pueden viajar a través del líquido extracelular para afectar a las células cercanas o pueden entrar en el torrente sanguíneo para actuar a mayor distancia.

En general, las acciones de cada hormona producen una retroalimentación negativa con la finalidad de reducir el estímulo para su secreción. Por ejemplo, cuando el pH duodenal es demasiado bajo, las células intestinales endocrinas liberan *secretina* y ésta estimula al páncreas a producir un jugo más alcalino para neutralizar la acidez. En la figura 14-27 pueden verse esos bucles de retroalimentación negativos.

Los reflejos neurales participan del sistema nervioso entérico

Recordemos que los *plexos nerviosos mientérico y submucoso* forman el *plexo nervioso entérico* (el «cerebro in-

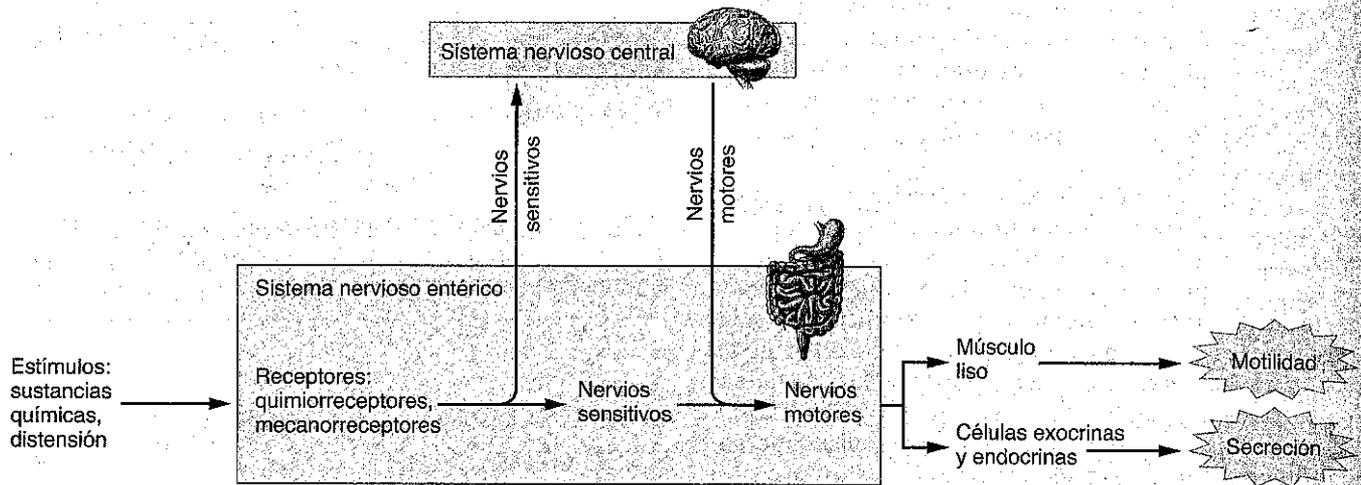


Figura 14-24. El sistema nervioso entérico detecta los cambios en la luz del tracto digestivo y en respuesta produce cambios en la motilidad intestinal y la secreción. El sistema nervioso entérico también intercambia señales sensoriales y señales motoras con el sistema nervioso central. ¿Qué efector que regula la motilidad del músculo, las células musculares lisas o las células secretoras?

testinal»). El sistema nervioso entérico incluye nervios sensitivos y motores (fig. 14-24). Los primeros reciben información de los quimiorreceptores sobre la composición del contenido del tubo digestivo y de los mecanorreceptores en relación con el grado de distensión. Sin abandonar el sistema nervioso entérico, estos nervios sensitivos pueden activar los nervios motores, que controlan la *motilidad* regulando la contracción del músculo liso; asimismo, controlan la *secreción* mediante la regulación de la actividad de las células exocrinas y endocrinas.

El sistema nervioso entérico está interconectado con otras ramas del sistema nervioso. Envía señales sensoriales al cerebro, con lo que percibimos la distensión intestinal, por ejemplo, la «sensación de estar lleno». También recibe señales motoras desde el cerebro. En términos generales, los nervios motores simpáticos reducen la función digestiva y el nervio motor parasimpático (nervio vago) la estimula. En la figura 14-25 puede verse un ejemplo de la participación del sistema nervioso central en la función digestiva.

Apuntes sobre el caso

14-18 La lactosa que había en la pildora de Margot pasó a través de su intestino delgado sin digerirse ni absorberse. ¿Qué tipo de receptores se activan por la lactosa, mecanorreceptores o quimiorreceptores?

La regulación gastrointestinal consta de tres fases

Para los no iniciados, la comida entra por un extremo y los residuos salen por el otro. La digestión normal es uno de los procesos más silenciosos del cuerpo, por lo que a veces resulta difícil imaginar la elegancia con la que está controlada. La regulación del proceso digestivo puede dividirse en tres fases: *cefálica*, *gástrica* e *intestinal*.

Fase cefálica

El cerebro inicia el proceso de digestión generando el impulso de comer. La **fase cefálica** de la digestión es la respuesta del cuerpo a la idea, olor o sabor de alimentos (fig. 14-25). El cerebro envía señales a través del nervio vago, que estimula la actividad del músculo liso gástrico para empezar la contracción en previsión de una comida. En segundo lugar, estimula la secreción de hidrogeniones y pepsinógeno de la mucosa gástrica, que inician la digestión de las proteínas.

Apuntes sobre el caso

14-19 Margot estaba tentada por un delicioso (pero prohibido) trozo de pastel de chocolate helado. ¿Aumentaría o disminuiría la actividad de sus células parietales y qué nervio llevaría la señal nerviosa desde el cerebro al estómago?

Fase gástrica

La **fase gástrica** se inicia cuando el alimento entra en el estómago. Los quimiorreceptores detectan la llegada de los péptidos y aminoácidos, y los mecanorreceptores detectan la distensión de la pared del estómago (fig. 14-26). Estos estímulos producen gastrina por las células G en el píloro. La gastrina viaja a través del líquido intersticial y el torrente sanguíneo para intensificar la contracción del músculo liso, que promueve la descomposición mecánica y mezcla de los contenidos del estómago. La gastrina aumenta la secreción de ácido clorhídrico por las células parietales. El ácido clorhídrico, a su vez, estimula la secreción de pepsinógeno por las células principales a través de un reflejo neural. El resultado neto de la actividad de la gastrina es la producción de *más* aminoácidos y péptidos, que fue el estímulo

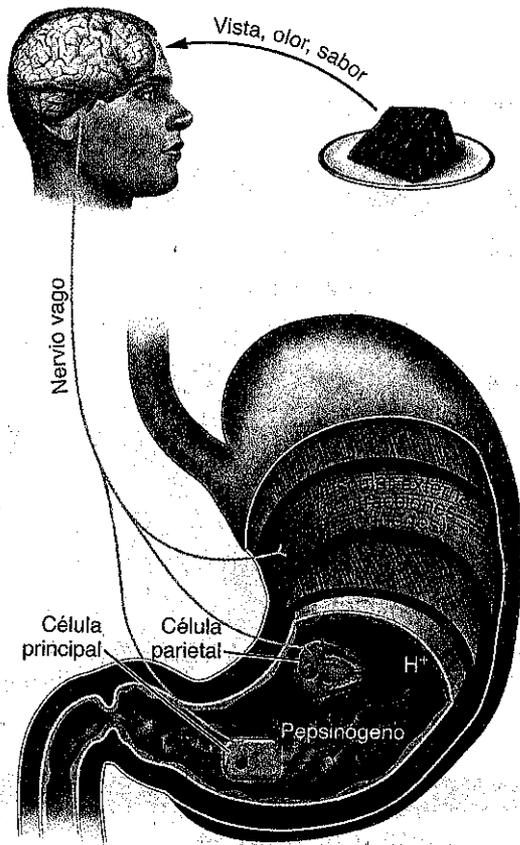


Figura 14-25. La fase céfalica prepara el estómago para los alimentos por venir. ¿Qué transporta las señales nerviosas desde el estómago hasta el cerebro?

original para la secreción. Este bucle de retroalimentación positiva termina cuando los alimentos salen del estómago para entrar en el duodeno.

Apuntes sobre el caso

14-20 Margot come un trozo de pastel helado en un momento de debilidad. ¿De qué manera sabe el estómago que ha llegado el pastel?

Fase intestinal

La **fase intestinal** es estimulada por la entrada de alimentos en el intestino y constituye un conjunto complejo de reflejos en el que participan el estómago, el intestino delgado, el hígado y el páncreas. Los objetivos y las actividades de la fase intestinal son (fig. 14-27):

1. **Asegurar la presencia de enzimas digestivas adecuadas y de bilis.** Las grasas y proteínas del quimo estimulan la liberación por parte las células endocrinas intestinales de la hormona **colecistocinina (CCK)** hacia el torrente sanguíneo. La CCK estimula posteriormente la liberación de enzimas pancreáticas y estimula la contracción

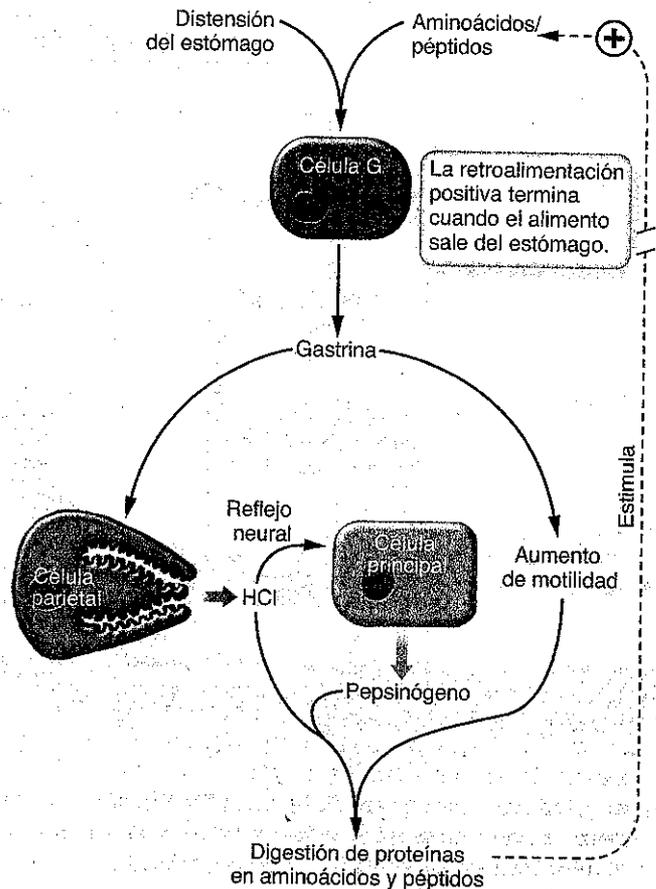


Figura 14-26. La fase gástrica inicia la digestión de las proteínas en respuesta al alimento en el estómago. ¿Qué hormona estimula los acontecimientos de la fase gástrica?

de la vesícula biliar y la descarga de su carga de bilis. Por último, la CCK relaja el esfínter hepatopancreático, lo que permite que la bilis y el jugo pancreático entren en el duodeno. Se produce la digestión química de las grasas y las proteínas (así como de los carbohidratos), eliminando el estímulo inicial para la secreción de CCK.

2. **Proteger la frágil mucosa intestinal de una cantidad excesiva de ácido gástrico.** El ácido del quimo estimula en las células epiteliales del duodeno la liberación de la hormona **secretina**. Esta hormona viaja por el torrente sanguíneo hasta el páncreas, donde estimula la producción de bicarbonato en las células que recubren los conductos pancreáticos. El aumento resultante de la producción de bicarbonato en el jugo pancreático neutraliza el quimo ácido, eliminando el estímulo para la liberación de secretina.
3. **Preparar el hígado y otros órganos metabólicos para la pronta entrada de los nutrientes en la sangre.** Una tercera hormona llamada **polipéptido gástrico inhibidor (GIP, gastric inhibitory peptide)** ayuda a proteger frente a las concentraciones demasiado elevadas de glucosa en sangre después de una comida azucarada. La glucosa en el quimo estimula la liberación de GIP de la mucosa duodenal y yeyunal. El GIP viaja a continuación hacia el

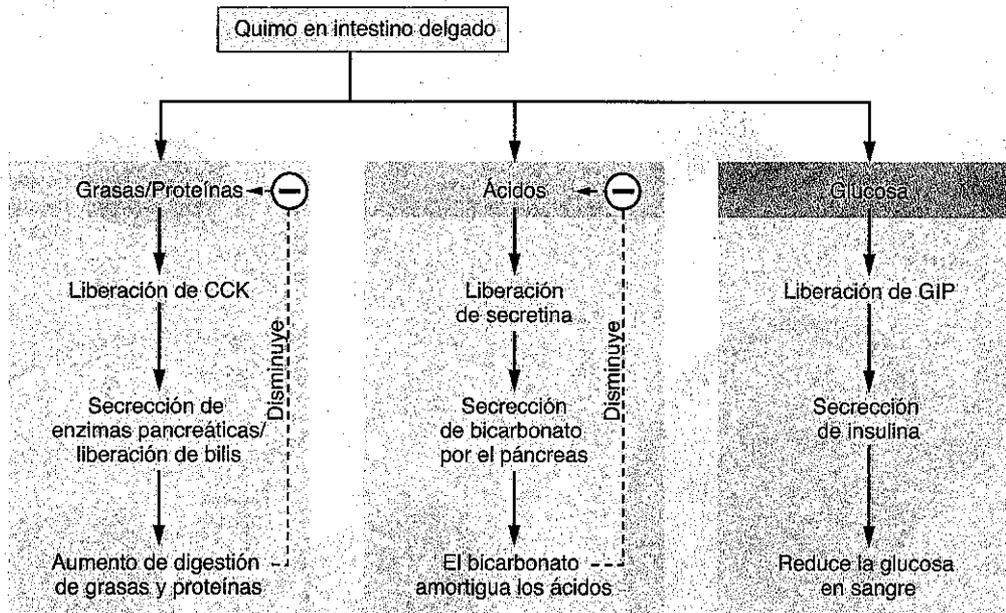


Figura 14-27. La fase intestinal favorece la digestión y protege el intestino de un vaciamiento gástrico excesivo. Tenga en cuenta que todas las hormonas intestinales también disminuyen la motilidad gástrica. ¿Qué hormona aumenta el pH del contenido intestinal, la secretina o la colecistocinina (CCK)?

páncreas para estimular la liberación de *insulina*. Como veremos en el siguiente capítulo, la *insulina* disminuye la glucosa en sangre mediante la estimulación de la captación de glucosa por las células. Así, el GIP evita un aumento de la glucosa en sangre, actuando incluso *antes* de que ésta sea absorbida.

4. *Proporcionar el tiempo suficiente para la digestión y la absorción intestinal.* La digestión y la absorción son procesos lentos y no pueden acelerarse por la llegada de grandes cantidades de quimo nuevo desde el estómago. Las tres hormonas GI mencionadas antes inhiben la motilidad del estómago y la liberación de quimo en el duodeno.

Apuntes sobre el caso

14-21 ¿Aumenta la secreción de GIP cuando Margot consume leche? ¿Por qué?

Examen sorpresa

14-46 ¿Dónde afecta principalmente la fase cefálica de la digestión, al estómago o al intestino?

14-47 ¿Qué hormona aumenta la actividad de la muscular externa del estómago, la gastrina o la secretina?

14-48 ¿Qué hormona estimula la secreción de enzimas pancreáticas, la colecistocinina o la secretina?

14-49 ¿Qué hormona se libera en respuesta a la disminución del pH intestinal, la gastrina o la secretina?

Estudio del caso

Intolerancia a la lactosa: el caso de Margot C.



Volvamos a nuestro caso.

Hay que recordar que Margot fue diagnosticada de intolerancia a la lactosa cuando era un niña; los productos lácteos le producían distensión, gases y cólicos intestinales, pero no se le habían realizado pruebas de laboratorio definitivas para el diagnóstico. Estos mismos síntomas se repitieron cuando tomó las pastillas que le dio el médico.

La clave para entender este caso es recordar que los carbohidratos de la dieta deben descomponerse en monosacáridos para ser absorbidos. La lactosa es un disacárido que normalmente se descompone mediante la lactasa intestinal en sus dos componentes: glucosa y galactosa. Las moléculas de glucosa resultantes estimulan la liberación de GIP intestinal, que estimula la secreción de insulina. En las personas tolerantes a la lactosa, la glucosa y la galactosa se absorben por completo y su concentración en sangre aumenta; ninguno permanece en el intestino para que las bacterias puedan digerirlos. El incremento de la glucosa en sangre estimula todavía más la secreción de insulina.

Sin embargo, el epitelio intestinal de Margot no contiene lactasa, por lo que la lactosa ingerida permanece en el quimo (fig. 14-28). No se produce glucosa a partir de la leche u otros productos lácteos, por lo que no se secretará GIP y no aumentará la concentración de glucosa en sangre. La lactosa permanece en el quimo, que pasa al colon aumentando la osmolaridad del contenido intestinal. La

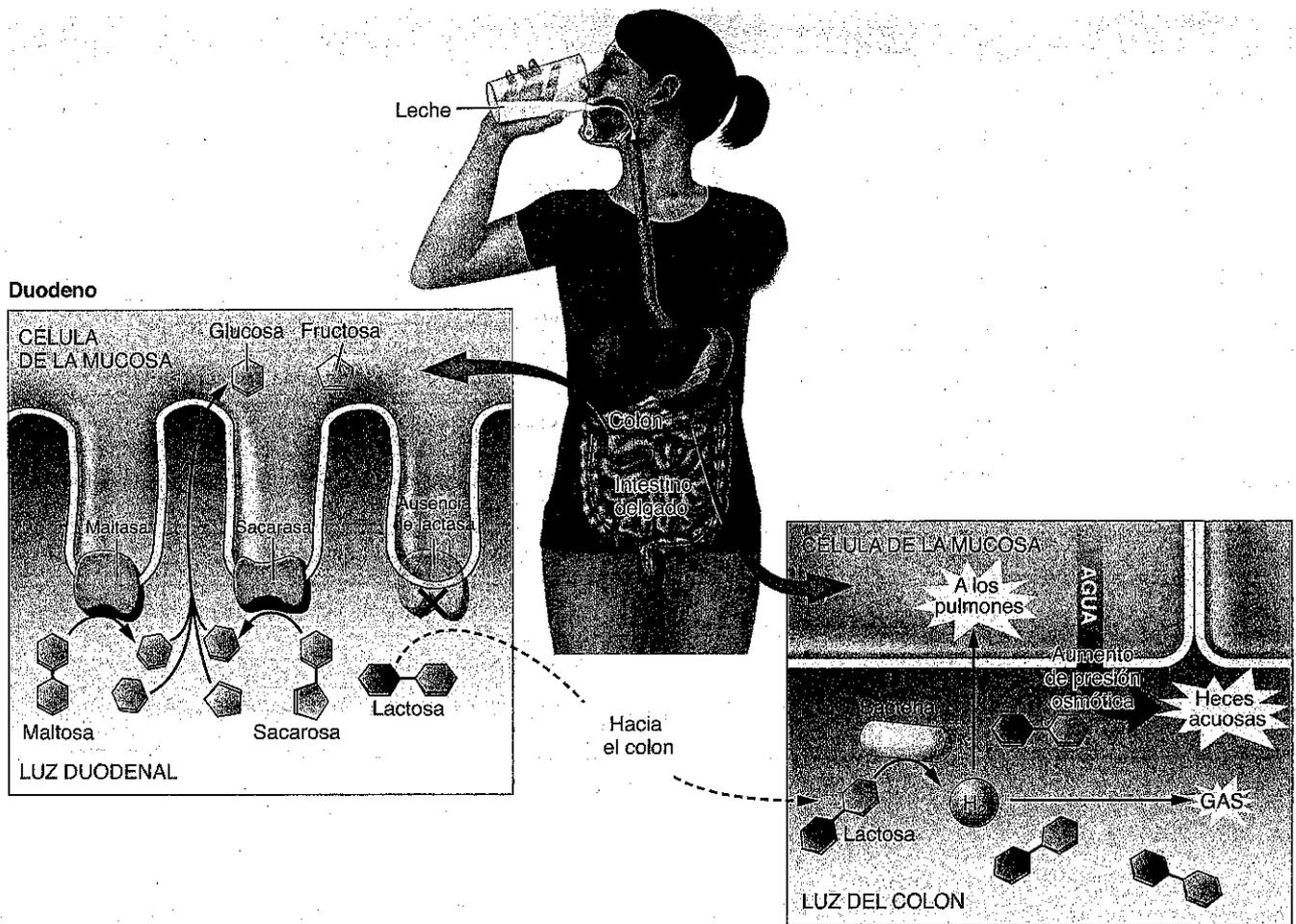


Figura 14-28. El caso de Margot C. Los problemas de Margot pueden atribuirse a la falta de la enzima lactasa en sus células duodenales. Como resultado, la lactosa permanece en el colon donde atrae por osmosis el agua (que produce diarrea) y es metabolizada por las bacterias, produciendo la acidez y el gas. ¿Puede el intestino de Margot generar glucosa a partir de los disacáridos ingeridos?

heces muy osmóticas atraen líquido desde las células de la mucosa del colon, lo que da lugar a heces líquidas (diarrea). Además, las bacterias del colon metabolizan la lactosa en ácidos grasos de cadena corta, que atraen más agua. La actividad bacteriana también produce grandes cantidades de gas hidrógeno, que a su vez distiende el intestino y produce calambres. Este gas entra en la sangre y difunde en el aire alveolar junto con el dióxido de carbono, y es detectable en el aliento espirado con un instrumento de laboratorio especial.

Por tanto, Margot sufría *diarrea*, una afección que todos reconocemos cuando la sufrimos pero que resulta sorprendentemente difícil de definir con precisión. Una definición de uso común dice que la diarrea consiste en más de un movimiento intestinal diario de deposiciones líquidas.

El exceso de agua en las heces es una característica de todas las diarreas. Esta acumulación de agua se debe a cuatro razones:

- *Aumento de la carga osmótica* (el problema de Margot).
- *Aumento de la secreción de agua y electrolitos* por la mucosa intestinal que puede estar producida por diversas enfermedades. Por ejemplo, ciertas bacterias liberan sustancias químicas que tienen este efecto.
- *Inflamación*. El epitelio intestinal lesionado pierde su integridad y rezuma líquido intersticial.
- *Disminución de la absorción*. La disminución de la longitud del intestino impide la absorción completa de agua del quimo o fecal. Por ejemplo, la extirpación quirúrgica de una parte sustancial del intestino delgado o del colon puede producir diarrea por absorción.

Apuntes sobre el caso

14-22 ¿Por qué las heces de Margot contienen ácidos grasos de cadena corta cuando toma helado?

Etimología

Raíces latinas/griegas	Equivalentes en español	Ejemplos
-asa	Enzima	Lactasa: enzima que digiere la lactosa
cefal-	Cabeza	Fase cefálica: fase de la digestión en la que participa la cabeza
-col/cole-	Bilis	Colecistocinina: hormona que estimula la liberación de bilis
entero-	Intestino	Plexo mientérico: red nerviosa del intestino
gastr-	Estómago	Gastrina: hormona producida por el estómago
hepato-	Hígado	Hepatocito: célula del hígado
lingu-	Lengua	Glándula salival sublingual: glándula situada debajo (sub-) de la lengua
líp-/lipo-	Grasa	Lipasa: enzima que digiere la grasa
naso-	Nariz	Nasofaringe: parte de la faringe adyacente a la nariz
oro-	Boca	Orofaringe: parte de la faringe adyacente a la boca
sacar-	Azúcar	Disacárido: molécula formada por dos (di-) azúcares

Cuestionario del capítulo

REVISIÓN DEL CAPÍTULO

1. Los ácidos grasos *trans*

- contienen dobles enlaces entre algunos de los átomos de carbono.
- también se llaman ácidos grasos insaturados.
- abundan en las fuentes naturales de grasa.
- sólo contienen enlaces simples entre los átomos de carbono.

2. Los aminoácidos esenciales

- pueden ser sintetizados por el hígado a partir de otros aminoácidos.
- sólo se encuentran en las proteínas animales.
- se encuentran en las proteínas animales y vegetales.
- son en total 20.

3. Las lipoproteínas de baja densidad

- contienen colesterol y triglicéridos.
- se sintetizan en el hígado.
- contribuyen a la enfermedad arterial.
- todo lo anterior.

4. ¿Cuál de los siguientes *no* es un órgano accesorio?

- Vesícula biliar.
- Esófago.
- Hígado.
- Páncreas.

5. El epiplón mayor

- cubre el hígado.
- es anterior al mesenterio propio.
- envuelve las asas de intestino delgado.
- une el colon transversal a la pared posterior del abdomen.

6. El plexo mientérico se encuentra
 - a. entre la mucosa y submucosa.
 - b. entre las capas musculares circular y longitudinal.
 - c. por debajo de la serosa.
 - d. dentro de la lámina propia.

7. La lengua está anclada en la boca por
 - a. la úvula.
 - b. la amígdala palatina.
 - c. el paladar blando.
 - d. el frenillo.

8. Las cavidades óseas de los dientes se llaman
 - a. alvéolos.
 - b. encía.
 - c. ligamentos periodontales.
 - d. conductos radiculares.

9. ¿Qué glándulas salivales drenan cerca de los molares?
 - a. Submaxilar.
 - b. Sublingual.
 - c. Palatina.
 - d. Parótida.

10. De superior a inferior, las partes de la faringe son
 - a. orofaringe, laringofaringe, nasofaringe.
 - b. laringofaringe, nasofaringe, orofaringe.
 - c. laringofaringe, orofaringe, nasofaringe.
 - d. nasofaringe, orofaringe, laringofaringe.

11. Los pliegues se encuentran en el
 - a. estómago.
 - b. intestino delgado.
 - c. intestino grueso.
 - d. todos los anteriores.

12. El ácido clorhídrico es secretado por
 - a. las células del cuello.
 - b. las células G.
 - c. las células parietales.
 - d. las células principales.

13. El _____ controla la entrada de quimo en el intestino delgado y la _____ controla la salida de los contenidos residuales en el intestino delgado.
 - a. válvula ileocecal, esfínter pilórico.
 - b. esfínter esofágico inferior, esfínter pilórico.
 - c. esfínter pilórico, válvula ileocecal.
 - d. esfínter esofágico inferior, válvula ileocecal.

14. De mayor a menor, las partes del intestino delgado que amplían su superficie son las
 - a. vellosidades, microvellosidades, pliegues.
 - b. pliegues, vellosidades, microvellosidades.
 - c. microvellosidades, vellosidades, pliegues.
 - d. vellosidades, pliegues, microvellosidades.

15. Las enzimas que se encuentran en la luz del intestino delgado son producidas por
 - a. el páncreas.
 - b. las glándulas intestinales.
 - c. las células caliciformes.
 - d. el hígado.

16. La enzima que descompone la sacarosa es producida por
 - a. el páncreas.
 - b. el hígado.
 - c. las glándulas salivales.
 - d. las células intestinales.

17. La ampolla hepatopancreática recibe las secreciones de
 - a. el hígado.
 - b. el páncreas.
 - c. la vesícula biliar.
 - d. todo lo anterior.

18. Las células que producen la bilis se llaman
 - a. células de Kupffer.
 - b. células endoteliales.
 - c. hepatocitos.
 - d. ascitis.

19. ¿Cuál de las siguientes macromoléculas contiene glucosa?
 - a. Lactosa.
 - b. Glucógeno.
 - c. Sacarosa.
 - d. Todas las anteriores.

20. Las proteínas de gran tamaño pueden entrar intactas en el torrente sanguíneo de un recién nacido a través del proceso de
 - a. difusión facilitada.
 - b. transcitosis.
 - c. transporte activo.
 - d. ninguna de las anteriores.

21. ¿Cuál de las siguientes estructuras se ensambla dentro de las células intestinales?
 - a. micelas.
 - b. gotas de lípidos.
 - c. quilomicrones.
 - d. emulsiones.

22. **La bilis**
- emulsiona las gotas grandes de grasa en gotas pequeñas.
 - digiere los triglicéridos en sus componentes.
 - transporta los productos de la digestión de las grasas hacia las células intestinales.
 - todo lo anterior.
23. **La curva entre el colon ascendente y el colon transversal se llama:**
- Ángulo hepático.
 - Ángulo esplénico.
 - Colon sigmoide.
 - Recto.
24. **Las tiras de músculo longitudinal del intestino grueso**
- se contraen rítmicamente para permitir el peristaltismo.
 - se contraen arrítmicamente para permitir la segmentación.
 - reciben el nombre de tenias del colon.
 - se encuentran dentro de la capa mucosa.
25. **La secreción de la secretina es mayor**
- durante la fase cefálica.
 - durante la fase intestinal.
 - durante la fase gástrica.
 - ninguna de las anteriores.
26. **Pensar en una deliciosa galleta estimula la motilidad del**
- intestino delgado.
 - esófago.
 - estómago.
 - intestino grueso.
27. **La colecistocinina estimula**
- la secreción de enzimas pancreáticas.
 - la secreción de bicarbonato pancreático.
 - la síntesis de bilis en el hígado.
 - la producción de ácido por las células parietales.
28. **Los alimentos en el intestino inhiben la actividad gástrica al estimular la liberación de**
- secretina.
 - colecistocinina.
 - polipéptido gástrico inhibitor.
 - todo lo anterior.

COMPRENSIÓN DE CONCEPTOS

29. **Para cada una de las siguientes recomendaciones dietéticas, explique las razones fisiológicas subyacentes.**
- Los carbohidratos deben ser de cereales integrales.
 - Una dieta que incluya cantidades significativas de aceites vegetales es más saludable que una dieta sin grasa.
30. **Enumere tres diferencias entre la digestión de proteínas y la digestión de triglicéridos.**
31. **La sangre en los sinusoides hepáticos tiene un contenido de oxígeno más bajo que la sangre en la mayoría de los capilares. ¿Por qué? Comente la vascularización del hígado en la respuesta.**
32. **¿Producen las células parietales alguna enzima? Defina enzima en la respuesta.**

APLICACIÓN

33. **El Sr. M. está tomando un medicamento que bloquea la acción de la colecistocinina. Comente el impacto de este fármaco en la digestión.**
34. **Acaba de regresar de la India. Por desgracia, una desagradable cepa de la bacteria *Escherichia coli* le ha acompañado en el viaje, produciéndole una grave diarrea. Se toma una gran dosis de antibióticos de amplio espectro y observa que las heces se vuelven pálidas. ¿Por qué?**
35. **La galactosa es un monosacárido común en los productos lácteos, verduras y frutas. La galactosa es también un producto de la digestión de la lactosa, un disacárido de galactosa y glucosa que se encuentra a altas concentraciones en la leche materna y productos lácteos. Sin embargo, independientemente de su origen, la galactosa no puede ser utilizada para producir energía a menos que se convierta antes en glucosa. Algunos bebés tienen un defecto genético que les impide convertir la galactosa en glucosa, lo que da lugar a una acumulación nociva de galactosa en la sangre (galactosemia). Estos bebés no deben ser amamantados debido al alto contenido de lactosa de la leche materna. ¿Qué fórmula infantil sería mejor para un bebé con galactosemia, una basada en leche de vaca o una a base de leche de soja?**

36. La luz ultravioleta estimula la síntesis de vitamina D en la piel, por lo que las personas expuestas a la luz solar adecuada no requieren vitamina D en la dieta. ¿Es realmente una vitamina para los canadienses, que en invierno viven en un clima con poca luz solar? ¿Qué ocurre con los australianos, que viven en un clima mucho más soleado?

Puede encontrar las respuestas a estas preguntas en el apartado de recursos para estudiantes en: <http://thepoint.lww.com/espanol-McConnellandHull>