

9

El sistema endocrino

OBJETIVOS

Después de leer este capítulo, habrás conseguido los objetivos que se enumeran a continuación.

RESUMEN FUNCIONAL

- El sistema endocrino mantiene la homeostasis mediante la liberación de unas sustancias químicas denominadas *hormonas*, y controla procesos continuados o prolongados como el crecimiento y el desarrollo, la reproducción y el metabolismo.

NUESTROS OBJETIVOS

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas.

Visión general (págs. 310-313)

- ▶ Definir *hormona* y *órgano diana*.
- ▶ Describir la forma en que las hormonas actúan sobre el organismo.
- ▶ Explicar la forma en que las diversas glándulas endocrinas se estimulan para liberar las sustancias hormonales.
- ▶ Definir *retroalimentación negativa* y describir su papel al regular los niveles de sangre de las diversas hormonas.

Los principales órganos endocrinos (págs. 313-332)

- ▶ Describir las diferencias entre glándulas endocrinas y exocrinas.
- ▶ Identificar las principales glándulas y tejidos endocrinos en un diagrama.



- ▶ Enumerar las hormonas producidas por las glándulas endocrinas y analizar sus funciones principales.
- ▶ Discutir las formas en que las hormonas favorecen la homeostasis en el organismo dando ejemplo de acciones hormonales.
- ▶ Describir la relación funcional entre el hipotálamo y la hipófisis.
- ▶ Describir las principales consecuencias patológicas de la hipersecreción y la hiposecreción de las hormonas tratadas en este capítulo.

Otros tejidos y órganos que producen hormonas (pág. 332)

- ▶ Indicar el papel endocrino de los riñones, el estómago y el intestino, el corazón y la placenta.

Formación y desarrollo del sistema endocrino (págs. 332, 335)

- ▶ Describir los cambios que se producen en el sistema endocrino y en la homeostasis del organismo al envejecer.

No necesitas ver CSI para presenciar escenas llenas de acción. Las células de tu organismo viven dinámicas aventuras a niveles microscópicos continuamente. Por ejemplo, cuando las moléculas de insulina, que se transportan en la sangre de forma pasiva, abandonan la sangre y se unen con fuerza a los receptores de proteínas de las células cercanas, la respuesta es espectacular: las moléculas de glucosa transportadas por la sangre comienzan a desaparecer en las células y la actividad celular se acelera. Tal es el poder del segundo mayor sistema de control del organismo, el **sistema endocrino**. Éste coordina y dirige la actividad de las células del cuerpo junto con el sistema nervioso. Sin embargo, la velocidad de control de estos dos grandes sistemas reguladores es diferente. El sistema nervioso está construido “para la velocidad”. Utiliza los impulsos nerviosos para impulsar la acción inmediata de los músculos y las glándulas, de forma que se puedan ejecutar rápidos ajustes en respuesta a los cambios que ocurren tanto dentro como fuera del organismo. Por el contrario, el sistema endocrino, que actúa más lentamente, utiliza unos mensajeros químicos denominados *hormonas* que se liberan en la sangre para ser transportados de forma relajada por todo el organismo.

Aunque las hormonas provocan numerosos efectos, los principales procesos que controlan son la reproducción, el crecimiento y el desarrollo, la movilización de las defensas corporales frente a los estresantes, el mantenimiento del equilibrio de electrolitos, agua y nutrientes en la sangre, y la regulación del metabolismo celular y el equilibrio energético. Como puedes observar, el sistema endocrino regula procesos que abarcan periodos de tiempo relativamente largos y, en algunos casos, periodos continuos. El estudio científico de las hormonas y los órganos endocrinos se denomina **endocrinología**.

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas.

Visión general

En comparación con otros órganos del organismo, los órganos del sistema endocrino son pequeños e insignificantes. De hecho, para recoger un kilogramo de tejido productor de hormonas se necesitaría recoger *todo* el tejido endocrino de 8 ó 9 adultos. Asimismo, el sistema endocrino carece de la continuidad estructural o anatómica típica de la mayoría de los sistemas orgánicos. En cambio, las partes del tejido endocrino se encuentran divididas por distintas regiones del cuerpo (véase la Figura 9.3, pág. 314). Sin embargo, atendiendo a su función, los órganos endocrinos resultan impresionantes, y si tenemos en cuenta su papel de mantenimiento de la homeostasis corporal, se trata de auténticos gigantes.

La química de las hormonas

La clave de la increíble potencia de las glándulas endocrinas reside en las hormonas que producen y segregan. Las hormonas se pueden definir como las sustancias químicas que segregan las células endocrinas en los fluidos extracelulares y regulan la actividad metabólica de otras células del organismo. Aunque se producen muy diversas hormonas, casi todas se pueden clasificar atendiendo a su química en **moléculas con base de aminoácidos** (entre las que se incluyen las proteínas, los péptidos y los amino) o **esteroides**. Entre las hormonas esteroides (provenientes del colesterol) se incluyen las hormonas sexuales creadas por las gónadas (ovarios y testículos) y las

hormonas producidas por la corteza suprarrenal. El resto son derivados aminoácidos no esteroideos. Si tenemos en cuenta también a las hormonas locales denominadas **prostaglandinas**, descritas más adelante en el capítulo (véase la Tabla 9.2, pág. 333), habremos de añadir una tercera clase de sustancia química debido a que las prostaglandinas están hechas de lípidos altamente activos que se liberan de casi todas las membranas celulares.

Mecanismos de la acción hormonal

Aunque las hormonas transportadas por la sangre circulan por casi todos los órganos del cuerpo, una determinada hormona afecta sólo a ciertas células u órganos, denominados **células** u **órganos blanco**. Para que una célula blanco responda a una hormona, unas proteínas receptoras específicas deben estar presentes en la membrana de plasma o en el interior para que esa hormona se pueda adherir. Sólo cuando se produce esta unión la hormona puede influir en el funcionamiento de la célula.

El término *hormona* proviene de una palabra griega que significa “despertar”. De hecho, las hormonas corporales hacen precisamente eso. “Despiertan” o provocan sus efectos en las células corporales inicialmente *mediante la alteración* de la actividad celular, esto es, aumentando o disminuyendo el ritmo de un proceso metabólico normal en lugar de estimular uno nuevo. Los cambios precisos que siguen a la unión hormonal dependen de la hormona particular y el tipo de célula blanco, pero, en general, esto es lo que suele ocurrir:

1. Cambios en la permeabilidad de la membrana de plasma o en la condición eléctrica
2. Síntesis de proteínas o determinadas moléculas reguladoras (como las enzimas) en la célula
3. Activación o desactivación de enzimas
4. Estimulación de la mitosis
5. Favorecimiento de la segregación

Activación genética directa

A pesar de la enorme variedad de hormonas, existen solamente dos mecanismos mediante los cuales las hormonas provocan cambios en las células. Las hormonas esteroideas (y, por raro que parezca, la hormona tiroidea) utilizan el mecanismo que se muestra en la Figura 9.1a. Tratándose de moléculas solubles en lípidos, las hormonas esteroideas pueden (1) difundirse por las membranas de plasma de sus células blanco. Una vez dentro, la hormona esteroide (2) se introduce en el núcleo y (3) se une a una proteína receptora específica allí. El complejo hormona-receptor (4) se une entonces a partes específicas en el DNA de la célula, lo que activa (5) determinados genes que transcriben el RNA

mensajero (mRNA). Entonces, el mRNA (6) se traslada al citoplasma, lo que tiene como resultado la síntesis de nuevas proteínas.

Sistema del segundo mensajero

Las hormonas solubles en agua y no esteroideas (proteínas y hormonas péptidas) no pueden entrar en las células blanco. Por el contrario, se unen a los receptores situados en la membrana de plasma de las células blanco y utilizan un **sistema de segundo mensajero**. En estos casos (Figura 9.1b), (1) la hormona se une al receptor de la membrana y (2) el receptor activado desencadena una serie de reacciones (una cascada) que activa una enzima. Por el contrario, (3) la enzima cataliza las reacciones que producen las moléculas segundo mensajero (en este caso, *AMP cíclico*, también conocido como *cAMP* o adenosín monofosfato cíclico) que (4) supervisa cambios intracelulares adicionales que promueven la respuesta típica de la célula blanco a la hormona. Como puedes adivinar, existe una gran variedad de posibles segundos mensajeros (entre los que se incluyen el *guanosín monofosfato cíclico [cGMP]* y los *iones de calcio*) y muchas posibles respuestas de las células blanco a la misma hormona, en función del tipo de tejido que se estimule.

Control de la liberación de hormonas

Ahora que hemos visto cómo funcionan las hormonas, la siguiente pregunta es: “¿qué hace que las glándulas endocrinas liberen o no sus hormonas?” Veamos.

Los **mecanismos de retroalimentación negativa** constituyen el principal medio para regular los niveles en sangre de casi todas las hormonas (véase el Capítulo 1, pág. 13). En dichos sistemas, la secreción de hormonas se produce gracias a algunos estímulos internos o externos; por tanto, la elevación de los niveles hormonales inhibe la liberación de más hormonas (incluso mientras se promueven respuestas en sus órganos blanco). Como resultado, los niveles en sangre de muchas hormonas varían sólo dentro de un rango muy estrecho.

Estímulos de la glándula endocrina

Los estímulos que activan los órganos endocrinos se dividen en tres categorías principales: hormonal, humoral y nerviosa (Figura 9.2).

Estímulos hormonales Los estímulos más comunes son los *estímulos hormonales*, en los que otras hormonas impulsan a los órganos endocrinos a actuar. Por ejemplo, las hormonas hipotálamicas estimulan a la hipófisis anterior para que segregue sus hormonas, y muchas

P ¿Qué determina si una hormona influye en una célula del organismo determinada?

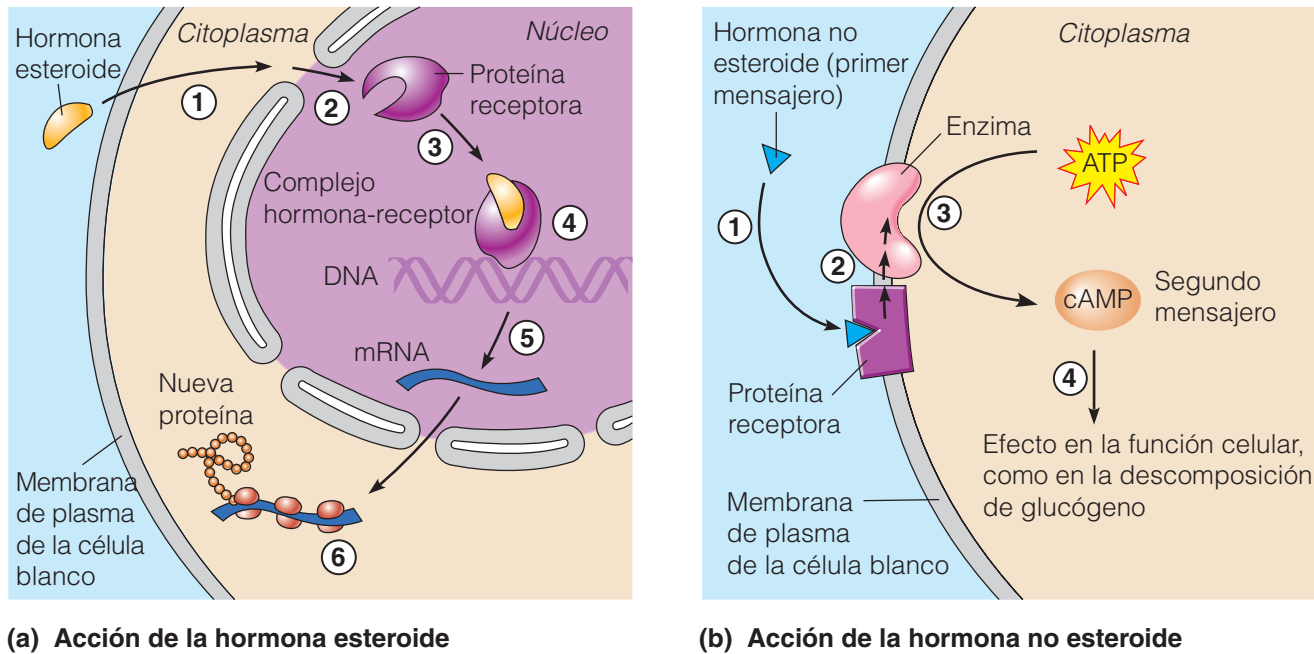


FIGURA 9.1 Mecanismos de la acción hormonal. (a) Activación directa de genes: el mecanismo de hormonas esteroides. (b) Sistema del segundo mensajero: el mecanismo de hormonas no esteroides (base de aminoácidos).

hormonas hipofisarias anteriores estimulan otros órganos endocrinos para que liberen sus hormonas a la sangre (Figura 9.2a). A medida que las hormonas producidas por las glándulas blanco aumentan en la sangre, se “retroalimentan” para impedir la liberación de hormonas hipofisarias anteriores y, por tanto, su propia liberación. La liberación de hormonas promovida por este mecanismo tiende a ser rítmica, con niveles de hormonas en sangre que aumentan y disminuyen una y otra vez.

Estímulos humorales La modificación de los niveles en sangre de determinados iones y nutrientes también puede estimular la liberación de hormonas. Estos estímulos se denominan *estímulos humorales* para distinguirlos de los estímulos hormonales, que son también las sustancias químicas transportadas en la sangre. El término *humoral* hace referencia al antiguo uso de la palabra *humor* para indicar los diversos fluidos corpo-

rales (sangre, bilis y otros). Por ejemplo, la liberación de la hormona paratiroidea (PTH) por parte de las células de las glándulas paratiroideas se ve favorecida por la disminución de los niveles de calcio en la sangre. Debido a que la PTH actúa de diversas formas para revertir dicha reducción, los niveles de Ca^{2+} en sangre aumentan rápidamente, lo que hace finalizar el estímulo de liberación de PTH (Figura 9.2b). Entre otras hormonas que se liberan como respuesta a los estímulos humorales encontramos: la calcitonina, liberada por la glándula tiroidea, y la insulina, producida por el páncreas.

Estímulos nerviosos En casos aislados, las fibras nerviosas estimulan la liberación de hormonas y se dice que las células blanco responden a los *estímulos nerviosos*. Un ejemplo clásico es la estimulación del sistema nervioso simpático de la médula suprarrenal para liberar noradrenalina y adrenalina durante los periodos de estrés (Figura 9.2c). Aunque estos mecanismos tipifican la mayoría de los sistemas que controlan la liberación de hormonas, no los explican todos en absoluto, y algunos órganos endocrinos responden a estímulos muy diferentes.

R Una hormona puede influir en una célula del organismo sólo si dicha célula tiene receptores para esa hormona en su membrana de plasma o de forma interna.

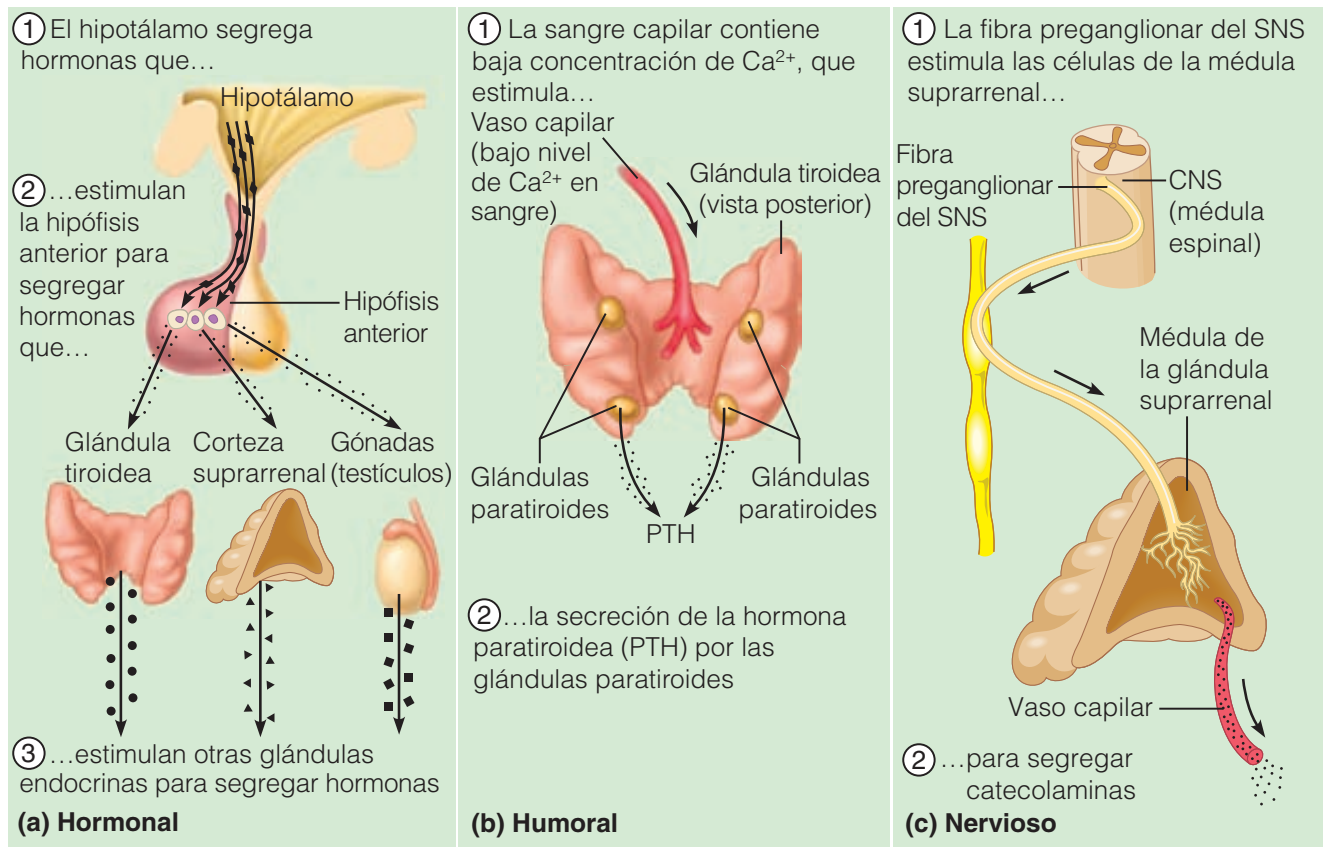


FIGURA 9.2 Estímulos de la glándula endocrina. (a) Estímulos hormonales.

En este ejemplo, las hormonas liberadas por el hipotálamo estimulan la hipófisis anterior para liberar hormonas que estimulan otros órganos endocrinos para segregar hormonas.

(b) Estímulo humoral. Los bajos niveles de calcio en sangre provocan la liberación de la hormona paratiroidea (PTH) desde las glándulas paratiroides. La PTH hace que los niveles de calcio en sangre aumenten mediante la estimulación de la liberación de Ca^{2+} desde el hueso. Por consiguiente, el estímulo para la segregación de PTH finaliza. **(c)** Estímulo nervioso. La estimulación de las células medulares adrenales por parte de las fibras del sistema nervioso simpático (SNS) desencadena la liberación de catecolaminas (epinefrina y norepinefrina) a la sangre.

¿LO HAS ENTENDIDO?

1. Andando descalzo, pisas un trozo de cristal e inmediatamente retiras el pie. ¿Por qué es importante que la señal que provoca este movimiento provenga del sistema nervioso y no del endocrino?
2. ¿Qué es una *hormona*? ¿Qué significa un *órgano diana*?
3. ¿Por qué se le denomina segundo mensajero al cAMP?
4. ¿Cuáles son las tres formas en que las glándulas endocrinas se estimulan para segregar las hormonas?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Los principales órganos endocrinos

Entre los órganos endocrinos principales del organismo se encuentran: la **hipófisis**, la **tiroides**, las **glándulas paratiroides**, **suprarrenal**, **pineal**, y **timo**, el **páncreas** y las gónadas (**ovarios** y **testículos**) (Figura 9.3). El **hipotálamo**, que forma parte del sistema nervioso, también se reconoce como un órgano endocrino principal porque produce varias hormonas. Aunque la función de algunas glándulas que producen hormonas (la hipófisis anterior, la tiroides, los adrenales y la paratiroides) es puramente endocrina, la función de otros (páncreas y gónadas) es

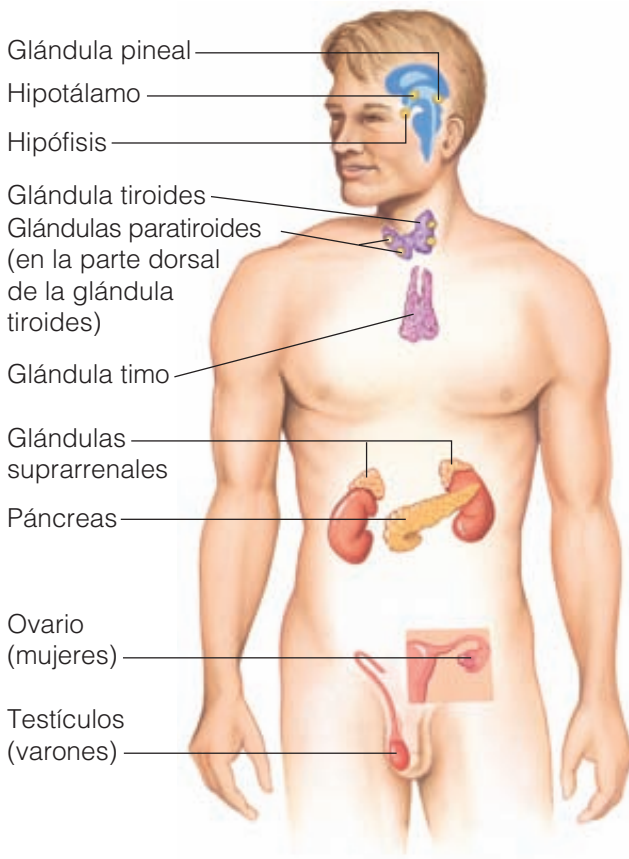


FIGURA 9.3 Ubicación de los principales órganos endocrinos del organismo. (Las glándulas paratiroides que aparecen en la superficie anterior de la glándula tiroides en esta imagen, se encuentran realmente ubicadas en la parte posterior en muchos casos).

mixta: endocrina y exocrina. Los dos tipos de glándulas se forman con tejido epitelial, pero las endocrinas son glándulas que **carecen de conductos** que producen hormonas que liberan a la sangre o la linfa. (Como cabe esperar, las glándulas endocrinas tienen un suministro de sangre muy rico). Por el contrario, las glándulas exocrinas liberan sus productos a la superficie corporal o a las cavidades corporales a través de conductos. Ya hemos tratado la formación y las similitudes y diferencias entre estos dos tipos de glándulas en el Capítulo 3. Aquí nos centraremos sólo en las glándulas endocrinas.

Además de las descripciones más detalladas de los órganos endocrinos que se verán a continuación, aparece un resumen de las principales funciones de sus hormonas y sus factores reguladores en la Tabla 9.1 (págs. 330–331).

La hipófisis

La **hipófisis** tiene aproximadamente el tamaño de un guisante. Cuelga de un tallo desde la superficie interior del hipotálamo del cerebro, donde está cómodamente rodeada por “la silla turca” del hueso esfenoidal. Tiene dos lóbulos funcionales: la hipófisis anterior (tejido glandular) y la hipófisis posterior (tejido nervioso).

Las hormonas hipofisarias anteriores

Como se muestra en la Figura 9.4, existen distintas hormonas hipofisarias anteriores que afectan a muchos órganos corporales. Dos de las seis hormonas hipofisarias anteriores (la hormona del crecimiento y la prolactina) ejercen sus principales efectos en objetivos no endocrinos. Las cuatro restantes: la hormona tirotrópica, la hormona adenocorticotrópica y las dos hormonas gonadotrópicas son todas **hormonas trópicas**. Las hormonas trópicas estimulan a sus órganos blanco, que también son glándulas endocrinas, para que segreguen sus hormonas, las cuales, en cambio, ejercen sus efectos en otros órganos corporales y tejidos. Todas las hormonas hipofisarias anteriores (1) son proteínas (o péptidos), (2) actúan mediante sistemas de segundo mensajero y (3) están reguladas por estímulos hormonales y, en la mayoría de los casos, por retroalimentación negativa.

La **hormona del crecimiento (GH)** es una hormona metabólica general. Sin embargo, sus principales efectos están dirigidos al crecimiento de los músculos esqueléticos y los huesos largos del organismo y, por tanto, desempeña un papel importante a la hora de determinar el tamaño corporal final. La GH es una hormona anabólica y que ahorra proteínas que hace que los aminoácidos se construyan en las proteínas y estimula la mayor parte de las células blanco para que crezcan en tamaño y se dividan. Al mismo tiempo, permite que las grasas se descompongan y se utilicen para producir energía mientras ahorra glucosa, lo que ayuda a mantener la homeostasis del azúcar en sangre.



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si no se tratan, tanto los déficit como los excesos de GH pueden dar como resultado anomalías estructurales. La hiposecreción de la hormona durante la infancia causa **enanismo pituitario** (Figura 9.5). Las proporciones corporales son bastante normales, pero la persona con este problema es en su conjunto una miniatura viviente (con una altura máxima de 1,22 m). La hipersecreción durante la infancia da como resultado el **gigantismo**. El individuo se vuelve extremadamente alto (de 2,40 a 2,70 m). De nuevo, las proporciones corporales son normales en general. Si la hipersecreción se produce después de que el crecimiento de los huesos largos haya terminado, se pro-

P ¿Qué efecto tendrían niveles elevados de la hormona tiroidea en la sangre respecto a la secreción de TSH?

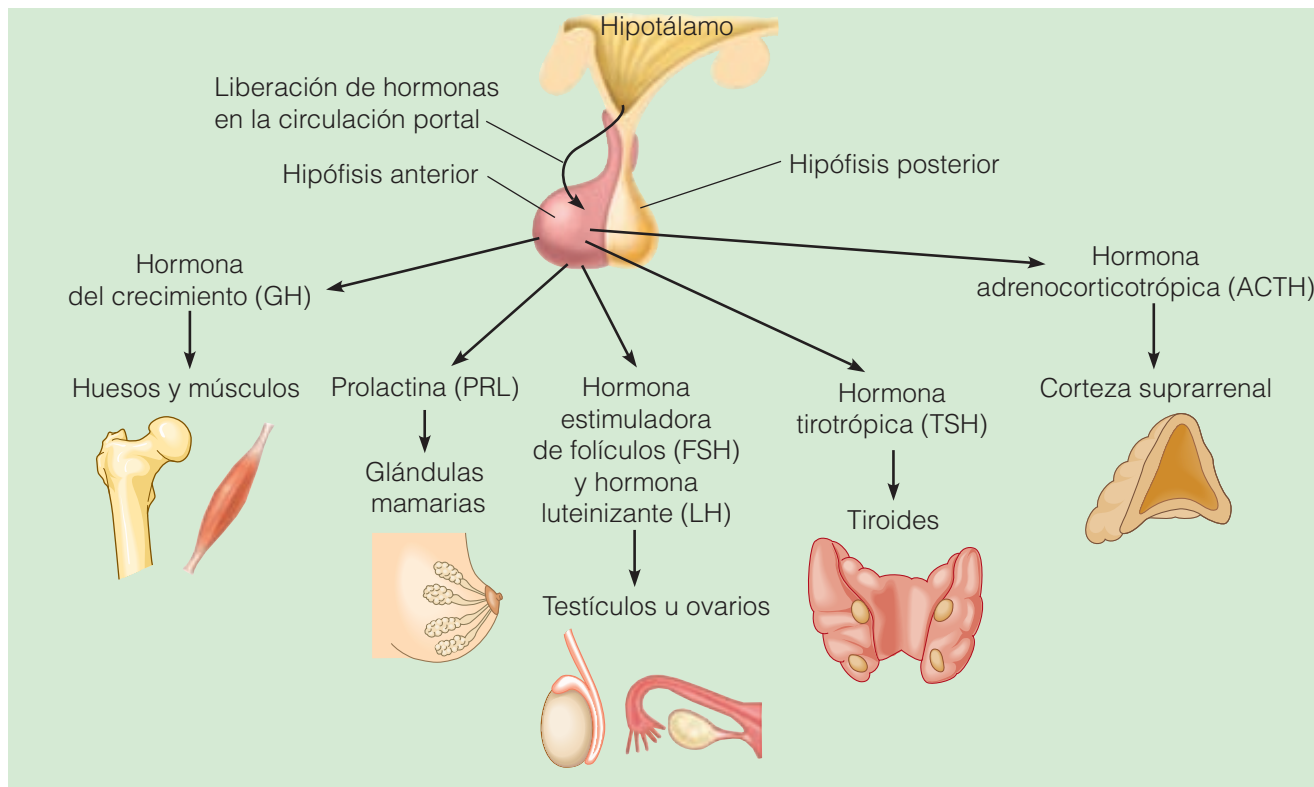


FIGURA 9.4 Hormonas hipofisarias anteriores y sus principales órganos blanco. La secreción de las hormonas hipofisarias anteriores se estimula mediante la liberación de hormonas secretadas por las neuronas hipotalámicas. Las hormonas liberadas se secretan en una red de vasos capilares que se conecta a través de las venas portales a un segundo lecho capilar en el lóbulo anterior de la hipófisis.

duce la **acromegalia**. Los huesos de la cara, especialmente la mandíbula inferior y los salientes huesudos de las cejas, crecen de manera espectacular, así como los pies y las manos. El espesamiento de los tejidos blandos da como resultado malformaciones faciales. La mayoría de los casos de hipersecreción de los órganos endocrinos (la hipófisis y los otros órganos endocrinos) son el resultado de tumores en la glándula afectada. Las células tumorales se comportan de una forma similar a las células glandulares normales, esto es, producen las hormonas que normalmente crea esa glándula. El uso de dosis farmacológicas

de GH para revertir algunos de los efectos del envejecimiento se resalta en el cuadro "Más de cerca" en las págs. 317-318. ▲

La **prolactina (PRL)** es una hormona proteica de características similares a la hormona del crecimiento. Su único blanco conocido en seres humanos es el pecho (*pro* = para; *lact* = leche). Tras el nacimiento del niño, estimula y mantiene la producción de leche del pecho de la madre. No se le conoce una función en los varones.

La **hormona adrenocorticotrópica (ACTH)** regula la actividad endocrina de la corteza de la glándula suprarrenal. La **hormona que estimula la tiroides (TSH)**, también llamada **hormona tirotrópica (TH)**, influye en el crecimiento y la actividad de la glándula tiroidea.

R Impediría que la hipófisis anterior secretara TSH.



(a)



(b)

FIGURA 9.5 Trastornos de la hormona del crecimiento pituitaria. (a) La superproducción prolongada de la hormona del crecimiento humano durante el desarrollo, que a menudo se debe a un tumor benigno dentro de la hipófisis, provoca gigantismo, mientras que la producción normal de GH durante la infancia da como resultado una altura normal en adultos. (b) La infraproducción de GH durante el desarrollo provoca enanismo.

Las **hormonas gonadotrópicas** regulan la actividad hormonal de las **gónadas** (ovarios y testículos). En las mujeres, la **hormona que estimula los folículos** de gonadotropina (**FSH**) estimula el desarrollo de folículos en los ovarios. A medida que maduran los folículos, producen estrógenos y los huevos se preparan para la ovulación. En los varones, la FSH estimula el desarrollo de espermatozoides por parte de los testículos. La **hormona luteinizadora (LH)** desencadena la ovulación de un huevo desde el ovario y provoca que el folículo roto produzca progesterona y algunos estrógenos. En los varones, la LH estimula la producción de testosterona por parte de las células intersticiales de los testículos.



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La hiposecreción de FSH o LH produce esterilidad, tanto en los varones como en las mujeres. En general, la hipersecreción no parece provocar ningún problema. Sin embargo, algunos fármacos utilizados para promover la fertilidad estimulan la liberación de las hormonas gonadotrópicas, y los embarazos múltiples (lo que indica ovulaciones múltiples al mismo tiempo en lugar de la ovulación única común de cada mes) resultan bastante comunes tras su uso. ▲

Relación entre la hipófisis y el hipotálamo

A pesar de su tamaño insignificante, la hipófisis anterior controla la actividad de tantas otras glándulas endocrinas que a menudo se le denomina la “glándula endocrina maestra”. La extirpación o destrucción de dicha glándula tiene un efecto dramático sobre el organismo. Las glándulas suprarrenal y tiroideas, y las gónadas se atrofian, y pronto son visibles los resultados de la hiposecreción de dichas glándulas. Sin embargo, la hipófisis anterior no es tan poderosa en el control de estas glándulas como podría parecer, dado que la liberación de cada una de sus hormonas está controlada por **hormonas liberadoras** e inhibidoras producidas por el hipotálamo.

El hipotálamo libera estas hormonas reguladoras a la sangre de la circulación portal, la cual conecta el suministro de sangre del hipotálamo con el de la hipófisis anterior. (En una *circulación portal* dos lechos capilares están conectados por la vena. En este caso, los vasos capilares del hipotálamo están drenados por las venas que se vacían en los vasos capilares de la hipófisis anterior).

MÁS DE CERCA

USOS POTENCIALES DE LA HORMONA DEL CRECIMIENTO

La hormona del crecimiento se ha estado utilizando para propósitos farmacéuticos (es decir, como fármaco) desde que se descubrió en la década de 1950. Inicialmente se obtenía de la hipófisis de los cadáveres y ahora se biosintetiza y administra mediante inyecciones. Aunque el uso de la GH está ampliamente extendido en las pruebas clínicas, su utilización como un fármaco prescriptivo está restringida hasta que se puedan documentar los efectos beneficiosos y dañinos derivados de ella (muchos de los cuales son intrigantes).

La GH se administra de forma legal a niños que no la producen de forma natural para permitir que estos niños crezcan hasta alturas cercanas a lo normal. Lamentablemente, algunos médicos sucumben a la presión de los padres para prescribir la GH a los niños que sí la producen, pero que son bajitos.

Cuando se administra a *adultos* con una deficiencia de la hormona de crecimiento, la grasa corporal disminuye y la masa corporal, la densidad ósea y la masa muscular aumentan. Asimismo, parecen aumentar el rendimiento y la masa muscular del corazón, disminuye el colesterol de la sangre, mejora el sistema inmune e incluso la perspectiva psicológica del que la consume. Tales efectos (especialmente los que comprenden un aumento de la masa muscular y una disminución de la grasa corporal) han llevado a los culturistas y atletas a abusar de la GH, motivo por el cual el consumo de esta sustancia sigue estando restringido.

Debido a que la GH puede revertir algunos efectos del envejecimiento, han proliferado las clínicas de antienvjecimiento que utilizan inyecciones de GH para retrasar este proceso. Normalmente la gente deja de producir la hormona a

partir de los 60 años, y esto podría explicar por qué la proporción de masa magra-gorda se reduce y la piel se hace más fina. La GH ya es el tratamiento elegido por muchas de las estrellas de Hollywood que temen la pérdida de su juventud y vitalidad. La administración de GH a los pa-

“Los medios que afirman que la GH es una ‘pócima de la juventud’ han resultado ser peligrosamente engañosos.”

cientes más mayores revierte estas disminuciones. No obstante, hay estudios

clínicos que revelan que la GH administrada no aumenta la fuerza ni la tolerancia al ejercicio en pacientes mayores, y un estudio cuidadoso de pacientes muy enfermos en la UCI (donde a menudo se administra GH para restaurar el equilibrio de nitrógeno) descubrió que las altas dosis de GH están relacionadas con un aumento de la mortalidad. Por este motivo, los medios que afirman que la GH es una “pócima de la juventud” han resultado ser peligrosamente engañosos, y no debería administrarse GH a las personas de avanzada edad o a los enfermos críticos.

La GH puede ayudar a los pacientes enfermos de sida. Gracias a la mejora de los antibióticos, cada vez menos pacientes con sida mueren de infecciones. La otra cara de la moneda es que cada vez más enfermos fallecen a causa de la pérdida de peso. Se ha comprobado que las inyecciones de GH pueden revertir de forma eficaz la pérdida de peso durante el sida, lo que lleva a un aumento del músculo magro y del peso. En 1996, la *U.S. Food and Drug Administration* aprobó la utilización de GH para tratar la pérdida de peso.



¿Puede ayudar la hormona del crecimiento a los pacientes más mayores?

MÁS DE CERCA Usos potenciales de la hormona del crecimiento (continuación)

La GH no es una sustancia milagrosa, incluso en los casos en los que resulta claramente beneficiosa. El tratamiento con GH resulta caro y tiene efectos secundarios no deseados. Puede provocar retención de líquidos y un edema, dolores en las articulaciones y en los músculos, un nivel alto de azúcar en sangre, into-

lerancia a la glucosa y ginecomastia (crecimiento de los pechos en los hombres). Hipertensión, crecimiento del corazón, diabetes y cáncer de colon son otros posibles resultados de altas dosis de GH, y los edemas y dolores de cabeza acompañan incluso a las dosis menores. Sin embargo, las dosis cuidadosamente prepara-

das pueden evitar la mayor parte de los efectos secundarios.

Se está realizando una investigación intensa acerca de los beneficios potenciales de la GH, y esta hormona dará que hablar en los años venideros. Esperemos que su extendido uso no se convierta en un problema para la salud pública.

El hipotálamo produce también dos hormonas adicionales, la oxitocina y la hormona antidiurética, que se transportan por los axones de las **células neurosecretoras** del hipotálamo a la hipófisis posterior para almacenarse (Figura 9.6). Más adelante se liberan en la sangre como respuesta a los impulsos nerviosos del hipotálamo para almacenarse.

Las hormonas hipofisarias posteriores

La hipófisis posterior no es una glándula endocrina en el sentido estricto porque *no genera* las hormonas péptidas que libera. Por el contrario, como hemos mencionado con anterioridad, simplemente actúa como zona de almacenamiento para las hormonas creadas por las neuronas hipotalámicas.

La **oxitocina** se libera en cantidades importantes sólo durante el nacimiento y en las mujeres que acaban de dar a luz. Estimula las poderosas contracciones del músculo uterino durante el parto, durante las relaciones sexuales y durante el amamantamiento. Asimismo, provoca la expulsión de la leche en las mujeres que amamantan. Tanto las sustancias oxitócicas naturales como las sintéticas (pitocina y otras) se utilizan para inducir el parto o acelerarlo en los casos en los que el ritmo es lento. De forma menos frecuente se utilizan para detener el sangrado posparto (al provocar la constricción de los vasos sanguíneos rotos en la placenta) y para estimular el reflejo de expulsión de leche.

La segunda hormona liberada por la pituitaria posterior es la **hormona antidiurética (ADH)**. La *diuresis* es la producción de orina. Por tanto, un anti-diurético es una sustancia química que impide o previene la producción de orina. La ADH hace que los riñones reabsorban más agua de la orina formada; como resultado de ello, el volumen de orina disminuye y el de sangre aumenta. En grandes cantidades, la ADH también incrementa la presión sanguínea al provocar la constricción de las arteriolas (pequeñas

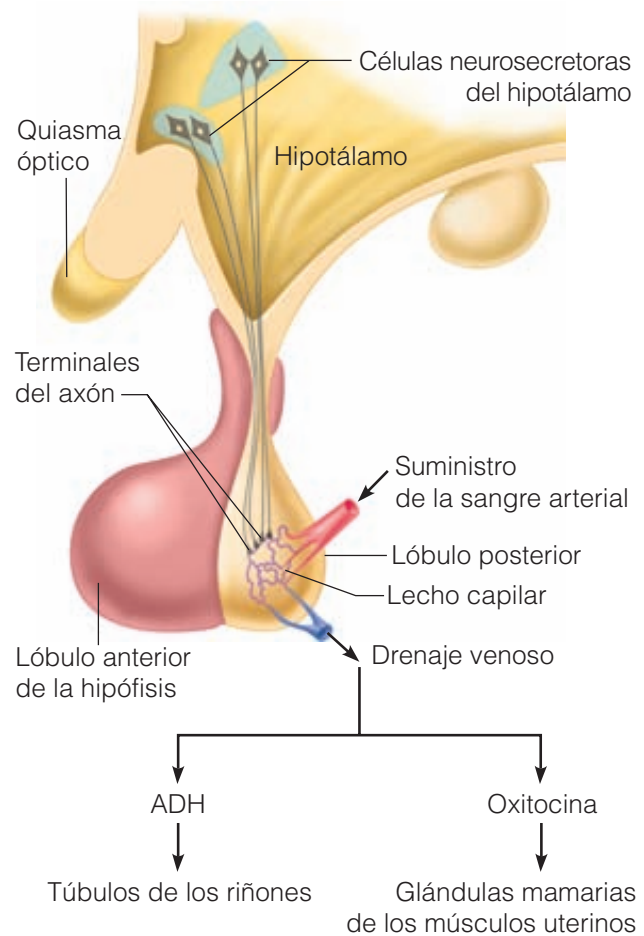


FIGURA 9.6 Hormonas liberadas por el lóbulo posterior de la hipófisis y de los órganos diana de dichas hormonas. Las células neurosecretoras del hipotálamo sintetizan la oxitocina y la hormona antidiurética (ADH) y la transportan por sus axones hasta la hipófisis posterior. Allí, las hormonas se almacenan hasta que se desencadena su liberación mediante impulsos nerviosos del hipotálamo.

arterias). Por este motivo, a veces se las denomina **vasopresinas**.

El consumo de bebidas alcohólicas impide la secreción de ADH y da como resultado la producción de gran cantidad de orina. La boca seca y la sed intensa que se experimenta a la mañana siguiente reflejan el efecto deshidratante del alcohol. Algunas sustancias clasificadas como *diuréticos* antagonizan los efectos de la ADH, provocando que el agua se expulse del organismo. Estas sustancias se utilizan para tratar el edema (retención de agua en los tejidos) típico de un fallo congestivo del corazón.



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

La hiposecreción de ADH conduce a una enfermedad consistente en un exceso de producción de orina denominada **diabetes insípida**. Las personas que presentan este problema siempre tienen sed y beben grandes cantidades de agua. ▲



¿LO HAS ENTENDIDO?

5. Tanto la hipófisis anterior como la posterior liberan hormonas, pero la posterior no es una glándula endocrina. ¿De qué se trata?
6. Cita dos diferencias importantes entre las glándulas endocrinas y exocrinas.
7. ¿Qué son las hormonas trópicas?
8. Juan elimina grandes cantidades de orina. Tiene un problema del sistema endocrino, pero no es diabetes *mellitus*, que es similar. ¿Cuál es su posible problema?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

La glándula tiroides

La **glándula tiroides** es una glándula que produce hormonas que resultan familiares a muchas personas, ya que muchos obesos culpan de su sobrepeso a sus “glándulas” (queriéndose referir a la tiroides). En verdad, el efecto de la tiroides en el peso corporal no es tan importante como muchos se piensan.

La glándula tiroides está situada en la base de la garganta, justo debajo de la nuez, donde se puede palpar fácilmente durante un examen físico. Es una glándula bastante grande compuesta de dos lóbulos unidos por una masa central o *istmo* (Figura 9.7). La glándula tiroides produce dos hormonas, una llamada *hormona tiroidea* y la otra *calcitonina*. Internamente, la glándula tiroides está compuesta de estructuras huecas denominadas **folículos**, que almacenan un material coloidal

pegajoso (Figura 9.7 b) La hormona tiroidea se origina a partir de este material.

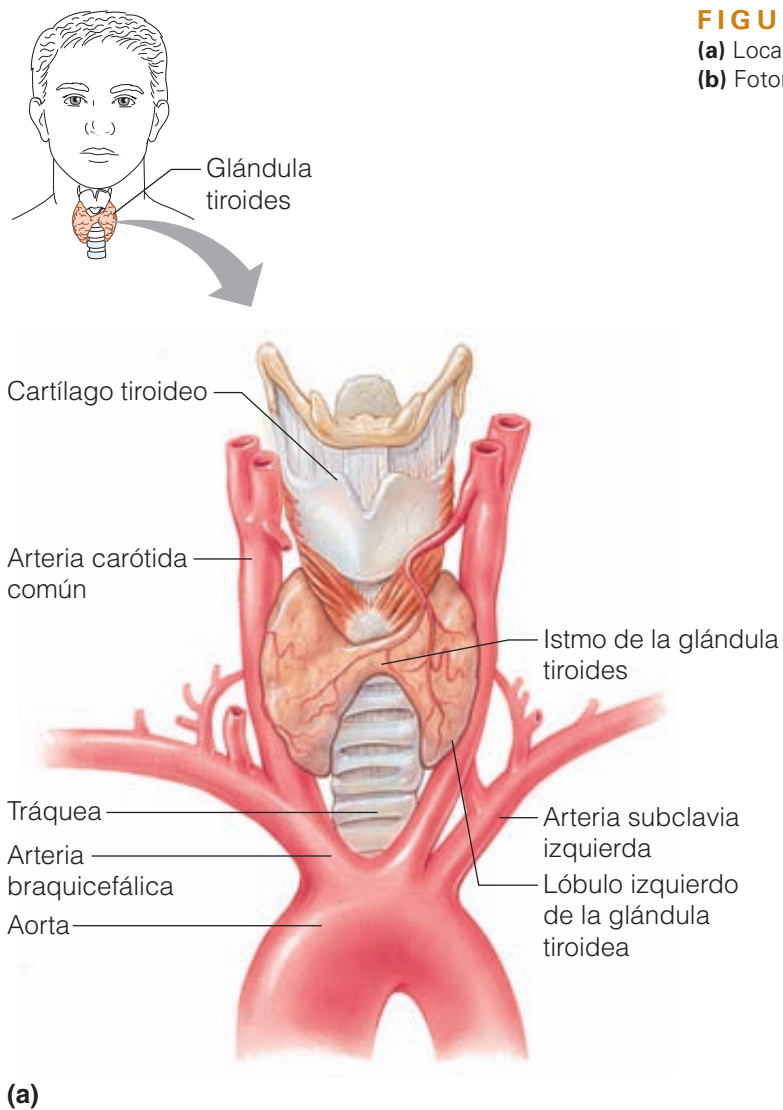
La **hormona tiroidea**, a menudo conocida como la hormona metabólica principal del organismo, son realmente dos hormonas activas que contienen yodina: **tiroxina**, o **T₄**, y **triyodotironina**, o **T₃**. La tiroxina es la hormona principal segregada por los folículos tiroideos. La mayor parte de la triyodotironina se forma en los tejidos blanco mediante la conversión de la tiroxina en triyodotironina. Estas dos hormonas son muy parecidas. Cada una se construye a partir de dos aminoácidos de tirosina unidos, pero la tiroxina tiene cuatro átomos de yodina unidos, mientras que la triyodotironina tiene tres (por tanto, T₄ y T₃, respectivamente). La hormona tiroidea controla el ritmo al que “se quema” o se oxida la glucosa y se convierte en calor corporal y energía química. Dado que todas las células corporales dependen de un suministro continuo de energía química para realizar sus actividades, cada célula corporal es un objetivo. Asimismo, la hormona tiroidea resulta importante para un crecimiento y desarrollo normales del tejido, especialmente en los sistemas reproductivo y nervioso.



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Sin yodina no se pueden crear las hormonas funcionales. La fuente de yodina es nuestra dieta, y la comida rica en yodina son los alimentos del mar. Hace muchos años, los habitantes del Medio Oeste de Estados Unidos, una zona con tierra carente de yodina y alejada de la costa (y del suministro de pescado fresco), desarrollaban **bocios**. Esa región del país acabó llamándose el “cinturón del bocio”. El bocio es una ampliación de la glándula tiroides (Figura 9.8) que se produce cuando la alimentación es pobre en yodina. La TSH continúa requiriendo tiroxina y la glándula tiroides crece, pero sin yodina la tiroides crea sólo la parte péptida de la molécula, que no es funcional y, por tanto, no proporciona retroalimentación negativa para impedir la liberación de TSH. El bocio ya no es común en Estados Unidos hoy día porque la mayor parte de la sal es yodada, pero esto sigue siendo un problema en otras partes del mundo.

La hiposecreción de tiroxina puede indicar problemas distintos a la deficiencia de yodina, tales como la falta de estimulación por parte de la TSH. Si esto ocurre en la temprana infancia, el resultado es el **cretinismo**. El cretinismo da como resultado el enanismo en el que las proporciones corporales de los adultos tienen el aspecto de las de un niño. Juntos la cabeza y el tronco miden aproximadamente una vez y media la longitud de la pierna en lugar de tener aproximadamente la misma longitud, como en los adultos normales. Las personas con cretinismo que no se someten a tratamiento son retrasados mentales. Su pelo es escaso y su piel seca. Si se descubre pronto, la sustitución de la hormona evitará el retraso mental y otros signos y síntomas de

**FIGURA 9.7 Anatomía de la glándula tiroides.****(a)** Localización de la glándula tiroides, vista delantera.**(b)** Fotomicrografía de la glándula tiroides (250×).

deficiencia. El hipotiroidismo que se da en los adultos tiene como resultado el **mixedema**, que se caracteriza por flojera mental y física (aunque no se produce retraso mental). Otros síntomas son la hinchazón de la cara, fatiga, bajo tono muscular, baja temperatura corporal (la persona siempre está fría), obesidad y piel seca. Para tratar esta enfermedad se prescribe tiroxina oral.

El hipertiroidismo normalmente es el resultado de un tumor que se encuentra en la glándula tiroides. La superproducción extrema de tiroxina da como resultado un alto ritmo metabólico basal, intolerancia al calor, pulso rápido, pérdida de peso, comportamiento nervioso y agitado, y una incapacidad general para relajarse. La **enfermedad de Graves** es una forma de hipertiroidismo. Además de los síntomas que hemos mencionado con anterioridad, la glándula tiroides se agranda y los ojos pueden llegar a sobresalir por la parte anterior (una enfermedad llamada **exoftalmos** (Fi-

gura 9.9). El hipertiroidismo puede tratarse quirúrgicamente mediante la extirpación de parte de la tiroides (y un tumor si lo hay) o mediante tratamiento químico administrando sustancias que bloquean la tiroides o yodina radioactiva, que destruyen algunas de las células tiroideas. ▲

El segundo producto hormonal importante de la glándula tiroides, la **calcitonina**, disminuye los niveles de calcio en sangre haciendo que el calcio se deposite en los huesos. Actúa de forma antagónica a la hormona paratiroidea, la hormona producida por las glándulas paratiroideas. Mientras que la tiroxina se crea y almacena en folículos antes de liberarse en la sangre, la calcitonina es producida por las llamadas **células parafoliculares**, que se encuentran en el tejido conectivo *entre* los folículos (Figura 9.7b). Se libera directamente a la sangre como respuesta al aumento del nivel de calcio en san-



FIGURA 9.8 Bocio. Una tiroides agrandada (bocio) de Bangladesh.



FIGURA 9.9 El exoftalmos de la enfermedad de Graves.

gre. Se conocen pocos efectos de la hiposecreción o hipersecreción de calcitonina, y la producción de esta sustancia es exigua o cesa totalmente en los adultos. Esto puede ayudar a explicar (al menos en parte) la descalcificación progresiva de los huesos que acompaña al envejecimiento.

Glándulas paratiroides

Las **glándulas paratiroides** son pequeñas masas de tejido glandular que se encuentran a menudo en la superficie posterior de la glándula tiroides (véase la Figura 9.3). Normalmente existen dos glándulas paratiroides en cada lóbulo tiroideo, esto es, un total de cuatro paratiroides. No obstante, se conocen hasta ocho y es posible que haya otras en otras regiones del cuello e incluso el tórax. Las paratiroides segregan **hormona paratiroidea (PTH)** o **parathormona**, que es el más importante regulador de la homeostasis de iones de calcio (Ca^{2+}) de la sangre. Cuando los niveles de calcio en sangre caen por debajo de un nivel determinado, las paratiroides liberan PTH que estimula las células de destrucción de huesos (osteoclastas) para descomponer la matriz ósea y liberar calcio a la sangre. Por tanto, PTH es una hormona *hipercalcémica* (esto es, actúa para aumentar los niveles de calcio en sangre), mientras que la calcitonina es *hipocalcémica*. La interacción de la retroalimentación negativa entre estas dos hormonas cuando controlan el nivel de calcio en sangre se ilustra en la Figura 9.10. Aunque el esqueleto es el mayor blanco de la PTH, también estimula los riñones y el intestino para absorber más calcio (del filtrado urinario y los alimentos).



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Si los niveles de calcio caen mucho, las neuronas se vuelven extremadamente irritables y muy activas. Emiten impulsos a los músculos a un nivel tan rápido que los músculos padecen espasmos incontrolables (**tétanos**), lo que puede resultar fatal. Antes de que los cirujanos conocieran la importancia de las pequeñas glándulas paratiroides de la parte posterior de la tiroides, solían extraer toda la glándula de los pacientes con hipertiroidismo. En muchos casos se producía la muerte de estos pacientes. Una vez que se descubrió que las paratiroides son funcionalmente muy diferentes de la glándula tiroides, los cirujanos comenzaron a dejar al menos algunos tejidos de la paratiroides (si era posible) para que se ocuparan de la homeostasis del calcio en la sangre.

El hiperparatiroidismo grave provoca una destrucción masiva de los huesos; un examen de rayos X de los huesos muestra unos grandes agujeros perforados en la matriz ósea. Los huesos se vuelven muy frágiles y comienzan a surgir fracturas espontáneas. ▲

¿LO HAS ENTENDIDO?

- ¿Cómo están unidas de forma anatómica la tiroides y las glándulas paratiroides?
- ¿Qué hormona aumenta los niveles de calcio en sangre y qué glándula endocrina la produce?
- ¿Qué hormona reduce los niveles de calcio en sangre y qué glándula endocrina la produce?
- ¿Por qué resulta importante la yodina para el funcionamiento correcto de la glándula tiroides?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

P ¿Qué efecto tendría la extracción de las glándulas paratiroides en los niveles de calcio en sangre?

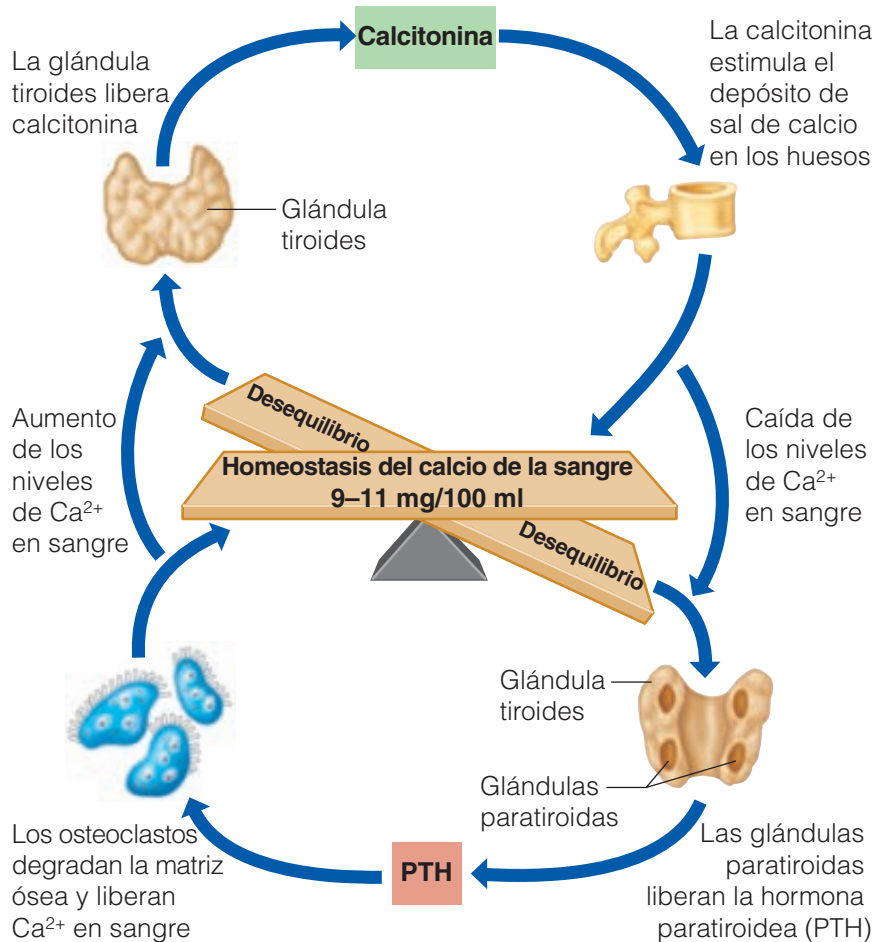


FIGURA 9.10 Controles hormonales de los niveles de calcio iónico en la sangre. La PTH y la calcitonina toman parte en los sistemas de control de retroalimentación negativa que se influyen entre sí.

Las glándulas adrenales

Como se muestra en la Figura 9.3, las dos **glándulas adrenales** con forma de guisante se doblan sobre la parte superior de los riñones. Aunque la glándula suprarrenal parece un solo órgano, en realidad se trata de dos órganos endocrinos, tanto por su estructura como por su funcionalidad. Al igual que la hipófisis, tiene partes glandulares (corteza) y tejido nervioso (médula). La

región de la médula central está encerrada por la corteza suprarrenal, que contiene tres capas separadas de células (Figura 9.11).

Las hormonas de la corteza suprarrenal

La **corteza suprarrenal** produce tres grupos principales de hormonas esteroides, denominadas de forma colectiva **corticosteroides**: mineralocorticoides, glucocorticoides y hormonas sexuales.

La capa celular de la corteza suprarrenal más exterior produce los **mineralocorticoides**, en especial la **aldosterona**. Como sugiere su nombre, los mineralocorticoides resultan importantes a la hora de regular el

R Los niveles de calcio en sangre se reducirían debido a que los huesos ya no estarían expuestos al estímulo de asimilación de PTH.

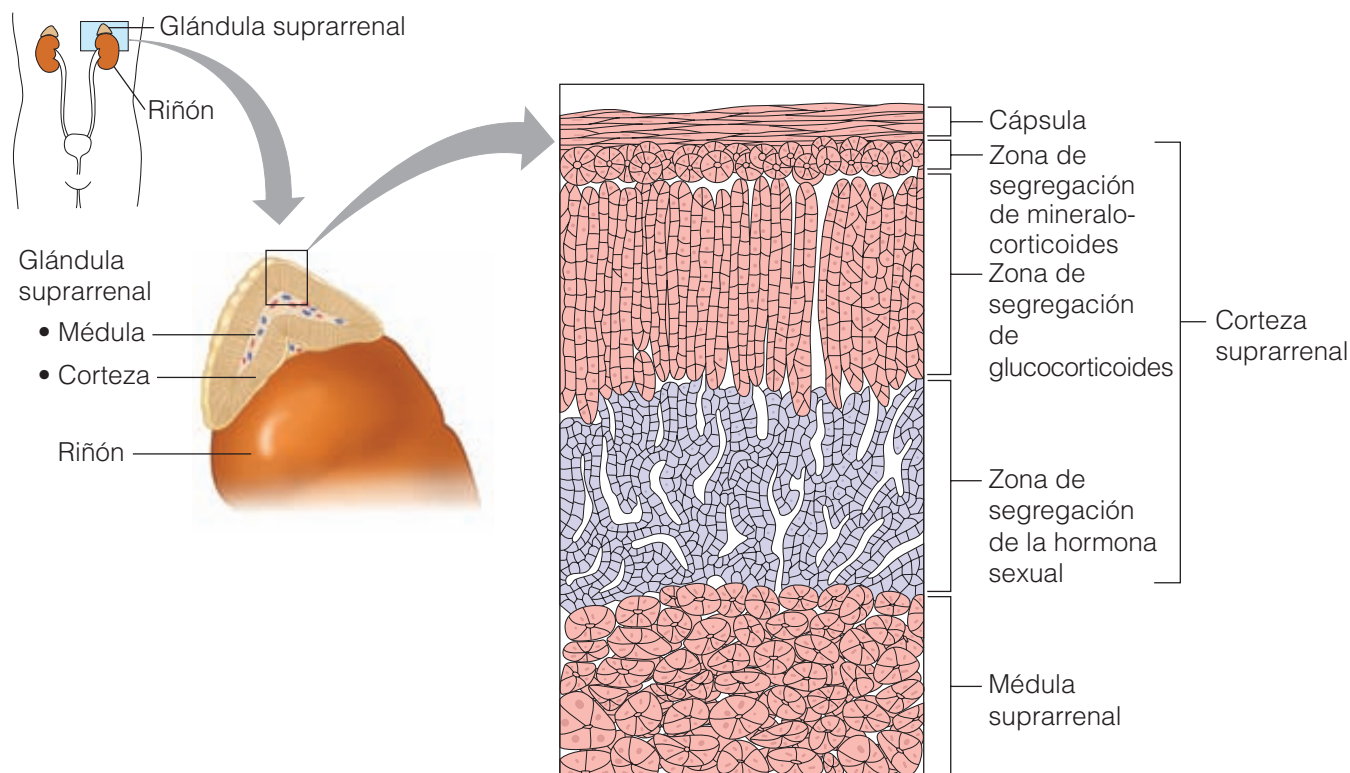


FIGURA 9.11 Estructura microscópica de la glándula suprarrenal.

Diagrama de tres regiones de la corteza suprarrenal y parte de la médula suprarrenal (200×).

contenido mineral (o la sal) de la sangre, en especial las concentraciones de iones de sodio y potasio. Su objetivo son los túbulos del riñón que reabsorben de forma selectiva los minerales o permiten expulsarlos del cuerpo en la orina. Cuando aumentan los niveles en sangre de aldosterona, las células tubulares del riñón reclaman cantidades cada vez mayores de iones de sodio y segregan más iones de potasio en la orina. Una vez que el sodio se ha reabsorbido, el agua va después. Por tanto, los mineralocorticoides ayudan a regular tanto el agua como el equilibrio electrolítico en los fluidos corporales. Como se muestra en la Figura 9.12, la liberación de aldosterona se estimula mediante los factores humorales, tales como menos iones de sodio o más iones de potasio en la sangre (y por ACTH en menor medida). La **renina**, una enzima producida por los riñones cuando se reduce la presión de la sangre, también provoca la liberación de aldosterona al desencadenar una serie de reacciones que forman **angiotensina II**, un potente estimulador de liberación de aldosterona. Una hormona liberada por el corazón, **el péptido natriurético auricular (ANP)**, evita la libera-

ción de aldosterona, siendo su objetivo *reducir* el volumen y la presión de la sangre.

La capa cortical media produce principalmente **glucocorticoides**, entre los que se encuentran la **cortisona** y el **cortisol**. Los glucocorticoides promueven un metabolismo celular normal y ayudan al organismo a resistir a los *estresantes de largo tiempo*, principalmente aumentando los niveles de glucosa en sangre. Cuando los niveles en sangre de los glucocorticoides son elevados, las grasas e incluso las proteínas se descomponen a causa de la acción de las células corporales y se convierten en glucosa, la cual se libera a la sangre. Por este motivo, se dice que los glucocorticoides son *hormonas hiperglucémicas*. Asimismo, los glucocorticoides parecen controlar los efectos más desagradables de la inflamación reduciendo el edema y el dolor mediante la inhibición de algunas moléculas causantes del dolor denominadas *prostaglandinas* (véase la Tabla 9.2, pág. 333). Debido a sus propiedades antiinflamatorias, a menudo los glucocorticoides se prescriben como fármacos para suprimir la inflamación de los pacientes con artritis reumatoide. Los glucocorticoi-

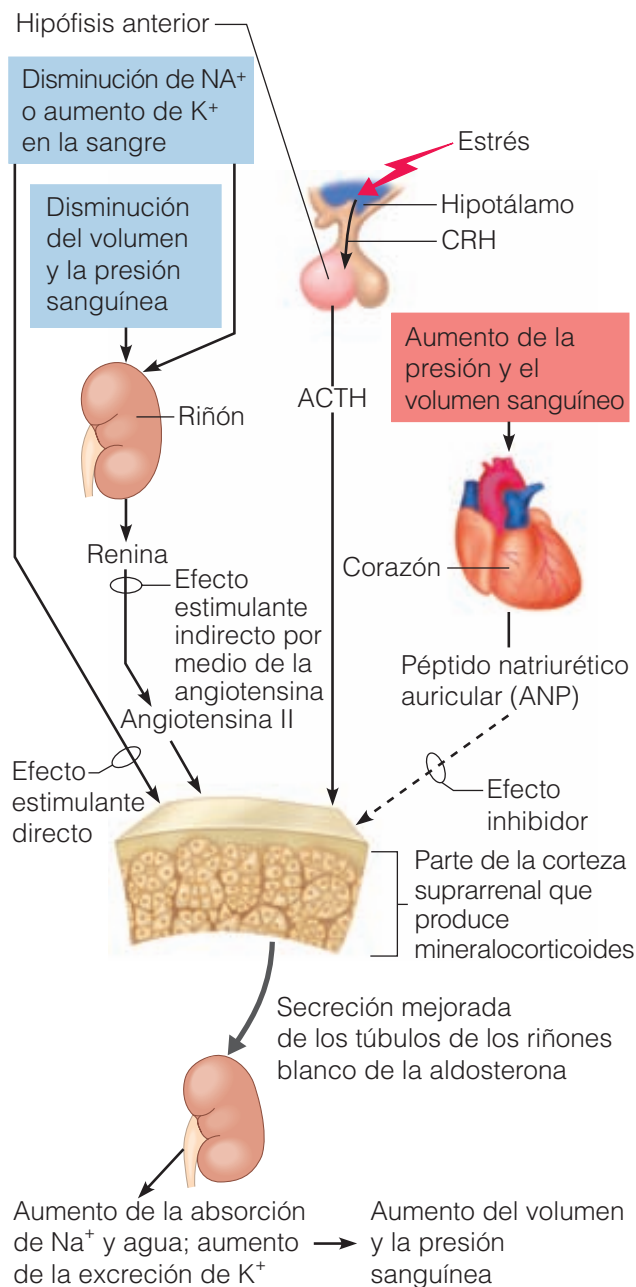


FIGURA 9.12 Principales mecanismos de control de la liberación de aldosterona desde la corteza suprarrenal. Las flechas más grandes indican los factores que estimulan la liberación de aldosterona; las flechas discontinuas indican un factor de inhibición.

des se liberan de la corteza suprarrenal en respuesta al aumento de los niveles de ACTH en sangre.

Tanto en los varones como en las mujeres la corteza suprarrenal produce las **hormonas sexuales** a lo

largo de la vida en cantidades relativamente pequeñas. Aunque la mayor parte de las hormonas sexuales que han sido producidas por la capa más interior de la corteza son **andrógenos** (hormonas sexuales masculinas), también se forman algunos **estrógenos** (hormonas sexuales femeninas).



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Una hiposecreción generalizada de todas las hormonas de la corteza suprarrenal conduce a la **enfermedad de Addison**, caracterizada por un tono bronce característico en la piel. Debido a que los niveles de aldosterona son bajos, se pierden sodio y agua del cuerpo, lo que lleva a problemas electrolíticos y de equilibrio del agua. Esto, a su vez, hace que los músculos se debiliten y es posible que se produzca un *shock*. Otros síntomas de la enfermedad de Addison son el resultado de niveles deficientes de glucocorticoides como la hipoglucemia, una disminución de la capacidad de controlar el estrés (cansancio) y la supresión del sistema inmune (y, de ese modo, una mayor susceptibilidad a la infección). Una carencia total de glucocorticoides es incompatible con la vida.

Los problemas de hipersecreción pueden resultar de un tumor que libera ACTH y la enfermedad resultante depende de la zona cortical involucrada. La hiperactividad que se produce en la zona cortical más exterior da como resultado **hiperaldosteronismo**. Se retiene un exceso de agua y sodio, lo que lleva a una alta presión sanguínea y a un edema, y se pierde tal cantidad de potasio que la actividad del corazón y el sistema nervioso puede verse trastornada. Cuando el tumor se encuentra en la zona cortical media o el paciente ha estado recibiendo dosis farmacológicas (cantidades superiores a las liberadas en el cuerpo) o glucocorticoides para contrarrestar la enfermedad inflamatoria, se produce el **síndrome de Cushing**. Un exceso de glucocorticoides da como resultado una "cara de luna" hinchada y la apariencia de una "joroba de búfalo" de grasa en la espalda superior. Entre otros efectos comunes e indeseables se encuentran una alta presión de la sangre, hiperglucemia (diabetes esteroidea), debilitamiento de los huesos (cuando se retira la proteína para convertirse en glucosa) y depresión grave del sistema inmune.

La hipersecreción de las hormonas sexuales lleva a la **masculinización**, independientemente de cuál sea el sexo. En los varones adultos estos efectos se pueden camuflar, mientras que en las mujeres los resultados son a menudo dramáticos. Les crece barba y aparece un patrón masculino de distribución de pelo, entre otros efectos. ▲

Las hormonas de la médula suprarrenal

La **médula suprarrenal**, al igual que ocurre con la hipófisis posterior, se desarrolla a partir de un nudo de tejido conectivo. Cuando la médula está estimulada por las neuronas del sistema nervioso simpático, sus células

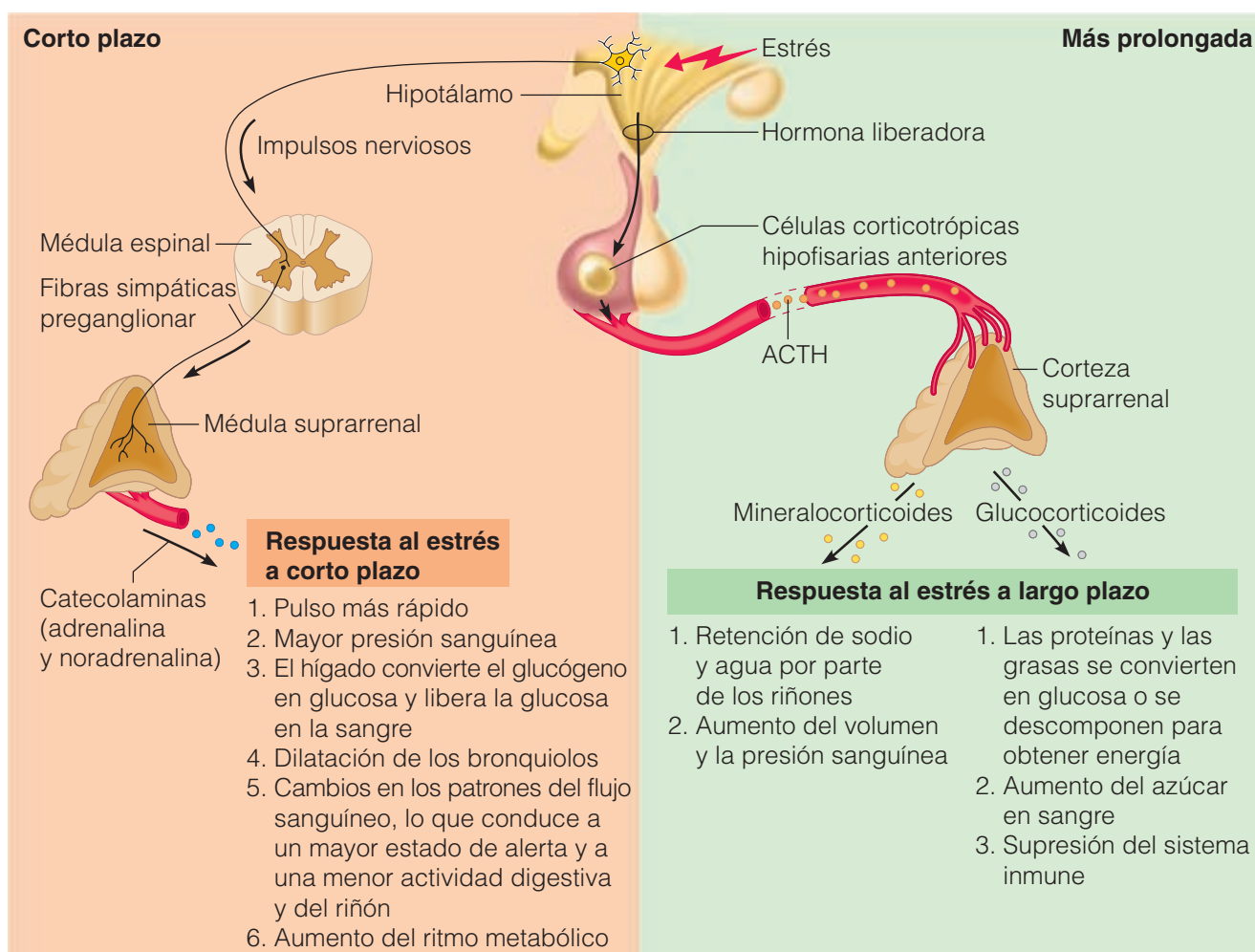


FIGURA 9.13 Importancia del hipotálamo, la médula suprarrenal y la corteza suprarrenal en la respuesta al estrés. (Ten en cuenta que ACTH es sólo un débil estimulador de liberación de mineralocorticoides en condiciones normales).

liberan dos hormonas similares, **adrenalina**, también llamada **epinefrina**, y **noradrenalina (norepinefrina)**, al torrente sanguíneo. De forma colectiva estas hormonas se denominan **catecolaminas**. Debido a que algunas neuronas simpáticas también liberan noradrenalina como un neurotransmisor, a menudo se piensa que la médula suprarrenal es un “ganglio del sistema nervioso simpático colocado en un lugar inapropiado”.

Cuando estás o (te sientes) amenazado de forma física o emocional, el sistema nervioso simpático genera la respuesta “de lucha o huida” para ayudarnos a manejar la situación. Uno de los órganos que estimula es la médula suprarrenal, la cual bombea sus hormonas al torrente sanguíneo para mejorar y prolongar los efectos

de los neurotransmisores del sistema nervioso simpático. Básicamente, las catecolaminas aumentan el pulso del corazón, la presión sanguínea y los niveles de glucosa en sangre, y dilatan los pequeños pasillos de los pulmones. Estos sucesos dan como resultado más oxígeno y glucosa en la sangre y una circulación más rápida de ésta a los órganos corporales (sobre todo al cerebro, los músculos y el corazón). Por tanto, el cerebro está más capacitado para tratar con un estresante de corta duración, ya sea el trabajo luchar, comenzar el proceso inflamatorio, o alertarte para que pienses más claramente (Figura 9.13).

Las catecolaminas de la médula suprarrenal preparan el organismo para manejar una situación de estrés

corta o larga y provocar la llamada *fase de alarma* de la respuesta ante el estrés. Por el contrario, los glucocorticoides están producidos por la corteza suprarrenal y resultan más importantes a la hora de ayudar al organismo a gestionar situaciones estresantes prolongadas o continuas, tales como la muerte de un miembro de la familia o someterse a una operación importante. Los glucocorticoides funcionan principalmente durante la *fase de resistencia* de la respuesta al estrés. Si tienen éxito a la hora de proteger el organismo, el problema se resolverá finalmente sin provocar daños al cuerpo. Cuando el estrés continúa una y otra vez, es posible que la corteza suprarrenal no “se queme”, lo que a menudo resulta fatal. Las funciones de los glucocorticoides en la respuesta al estrés se muestran también en la Figura 9.13.



DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

El daño o destrucción de la médula suprarrenal no tiene mayores efectos en tanto que las neuronas del sistema nervioso simpático continúen funcionando de manera normal. Sin embargo, la hipersecreción de catecolaminas conduce a los típicos síntomas de actividad excesiva del sistema nervioso simpático: pulso acelerado, alta presión sanguínea y una tendencia a transpirar y estar muy irritable. La extracción quirúrgica de células que segregan catecolamina cura esta enfermedad. ▲

Los islotes pancreáticos

El **páncreas**, situado cerca del estómago en la cavidad abdominal (véase la Figura 9.3), es una glándula mixta. Probablemente los **islotes pancreáticos** sean las glándulas endocrinas mejor escondidas, también llamados **islotes de Langerhans**. Estas pequeñas masas de tejido productor de hormonas están repartidas por el tejido acinar del páncreas, el cual produce enzimas. La parte exocrina (productora de enzimas) del páncreas, que actúa como parte del sistema digestivo, se tratará después; aquí sólo abarcaremos los islotes pancreáticos.

Aunque hay más de un millón de islotes, separados por las células exocrinas, cada uno de estos pequeños grupos de células crea enérgicamente sus hormonas y trabaja como un órgano dentro de un órgano. Dos hormonas importantes producidas por las células islotes son la **insulina** y el **glucagón**. Los islotes también producen pequeñas cantidades de otras hormonas, pero no los trataremos aquí.

Las células islote actúan como sensores de combustible, segregando insulina y glucagón apropiadamente durante los estados de alimento y ayuno. Los altos niveles de glucosa en sangre estimulan la liberación de insulina desde las **células beta** (Figura 9.14) de los islotes. La insulina actúa en casi todas las células cor-

porales y aumenta su capacidad de transportar glucosa por sus membranas de plasma. Una vez se ha introducido en las células, la glucosa se oxida para obtener energía o se convierte en glucógeno o grasa para almacenar. La insulina también acelera estas actividades. Debido a que la insulina elimina la glucosa de la sangre, se dice que su efecto es *hipoglucémico*. Cuando caen los niveles en sangre de glucosa finaliza el estímulo para la liberación de insulina: se trata de otro caso clásico de control negativo de la retroalimentación. Muchas hormonas tienen efectos hiperglucémicos (glucagón, glucocorticoides o adrenalina, por nombrar algunas de ellas), pero la insulina es la única hormona que disminuye los niveles de glucosa en sangre. La insulina resulta totalmente necesaria para que las células corporales utilicen la glucosa. Sin ella, la glucosa no puede entrar en las células para ser utilizada.



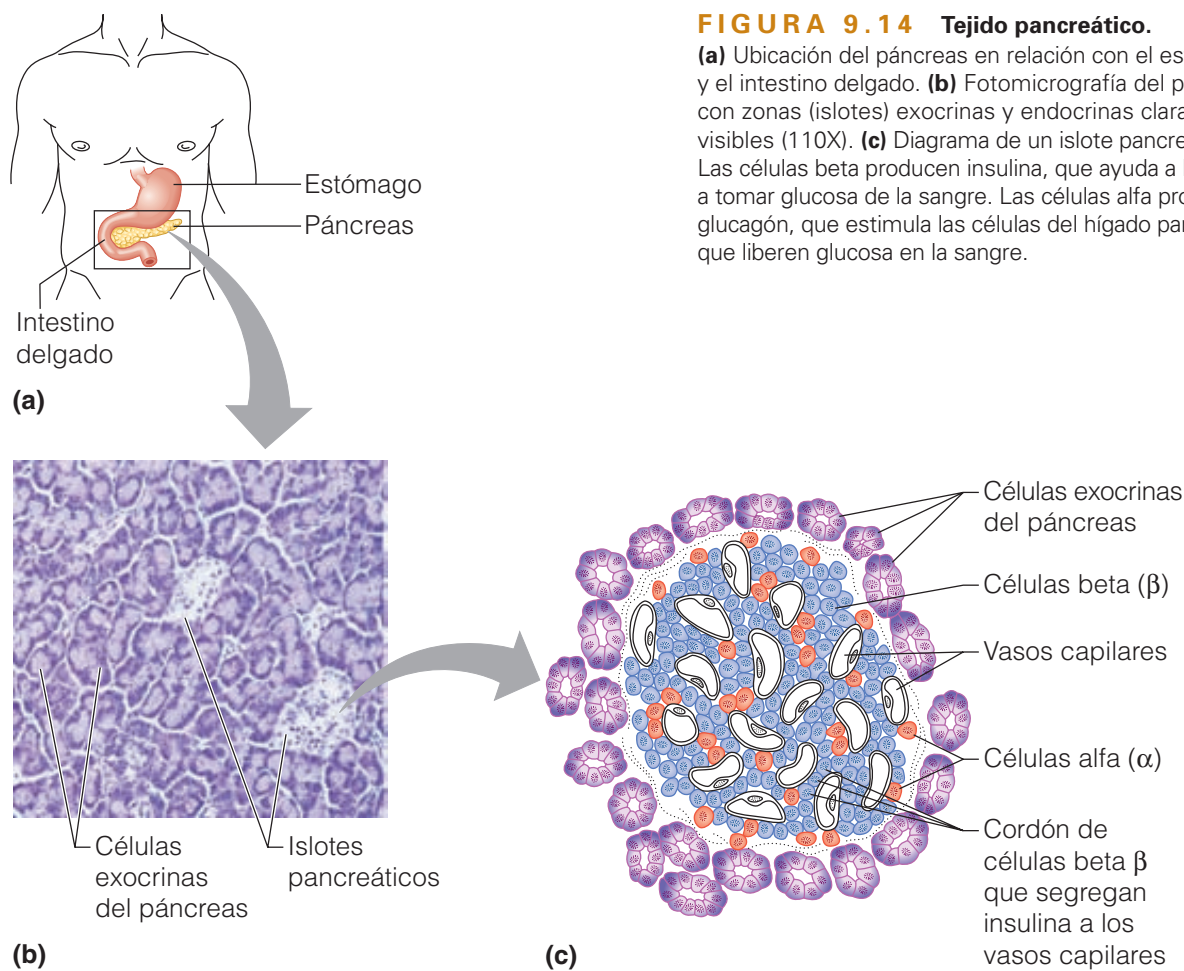
DESEQUILIBRIO HOMEOSTÁTICO

Sin insulina, los niveles en sangre de glucosa (que normalmente oscilan entre 80 y 120 mg/100 ml de sangre) se elevan a niveles muy altos (por ejemplo, 600 mg/100 ml de sangre). En estos casos, la glucosa empieza a derramarse en la orina debido a que las células tubulares del riñón no la pueden reabsorber lo suficientemente rápido. Cuando la glucosa sale del cuerpo, el agua le sigue, lo que lleva a la deshidratación.

El nombre clínico para esta enfermedad es **diabetes mellitus**, que literalmente significa que algo dulce (*mel* = miel) está pasando por o desviándose del cuerpo. Dado que las células no pueden usar la glucosa, las grasas e incluso las proteínas se descomponen y se utilizan para obtener la energía necesaria para el organismo. Por consiguiente, el peso corporal comienza a disminuir. La pérdida de proteínas corporales lleva a una menor capacidad de combatir las infecciones, de forma que los diabéticos deben tener especial cuidado con la higiene y el cuidado de incluso los golpes y los cortes más pequeños.

Cuando se utilizan grandes cantidades de grasa para producir energía, la sangre se vuelve muy ácida (**acidosis**), a medida que los ketones (productos intermedios de la descomposición de la grasa) aparecen en la sangre. Sobre la base de la causa, esta enfermedad de la acidosis se denomina **ketosis**. A menos que se corrija, se produce un estado de coma y la muerte posterior. Los tres signos principales de la diabetes *mellitus* son: (1) **poliuria**: orina excesiva para eliminar la glucosa y los ketones; (2) **polidipsia**: sed excesiva como resultado de la pérdida de agua; (3) **polifagia**: hambre que se produce como consecuencia de la incapacidad de utilizar azúcares y la pérdida de grasas y proteínas del organismo.

Las personas con casos medios de diabetes *mellitus* (la mayoría de los casos de tipo 2, o diabetes del adulto) producen insulina, pero por algún motivo sus receptores de insulina son incapaces de responder a ella, una situación



denominada **resistencia a la insulina**. Los diabéticos del tipo 2 se tratan con dietas especiales o medicamentos hipoglucémicos que hacen que los perezosos islotes actúen y aumenten la sensibilidad de los tejidos blanco a la insulina y de las células beta a los efectos estimulantes de la glucosa. Para regular los niveles de glucosa en sangre en los diabéticos (juvenil, frágil) del tipo 1, más grave, la insulina se infunde de forma continua mediante una bomba de insulina que se lleva de forma externa, o se administra a lo largo del día mediante un régimen de inyecciones de insulina. ▲

El glucagón actúa como un antagonista de insulina, esto es, ayuda a regular los niveles de glucosa en sangre, pero de una forma contraria a la de la insulina (Figura 9.15). La liberación de los islotes mediante las **células alfa** (véase la Figura 9.14c) se estimula a través de bajos niveles de glucosa en sangre. Su acción es hiperglucémica. Su órgano diana primario es el hígado, al que estimula para descomponer el glucógeno almacenado en glucosa y liberar la glucosa a la san-

gre. No se conocen trastornos importantes derivados de la hipohipersecreción de glucagón.

► ¿LO HAS ENTENDIDO?

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

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

P ¿Qué le ocurre a la capacidad del hígado de sintetizar y almacenar el glucógeno cuando se elevan los niveles de glucagón en sangre?

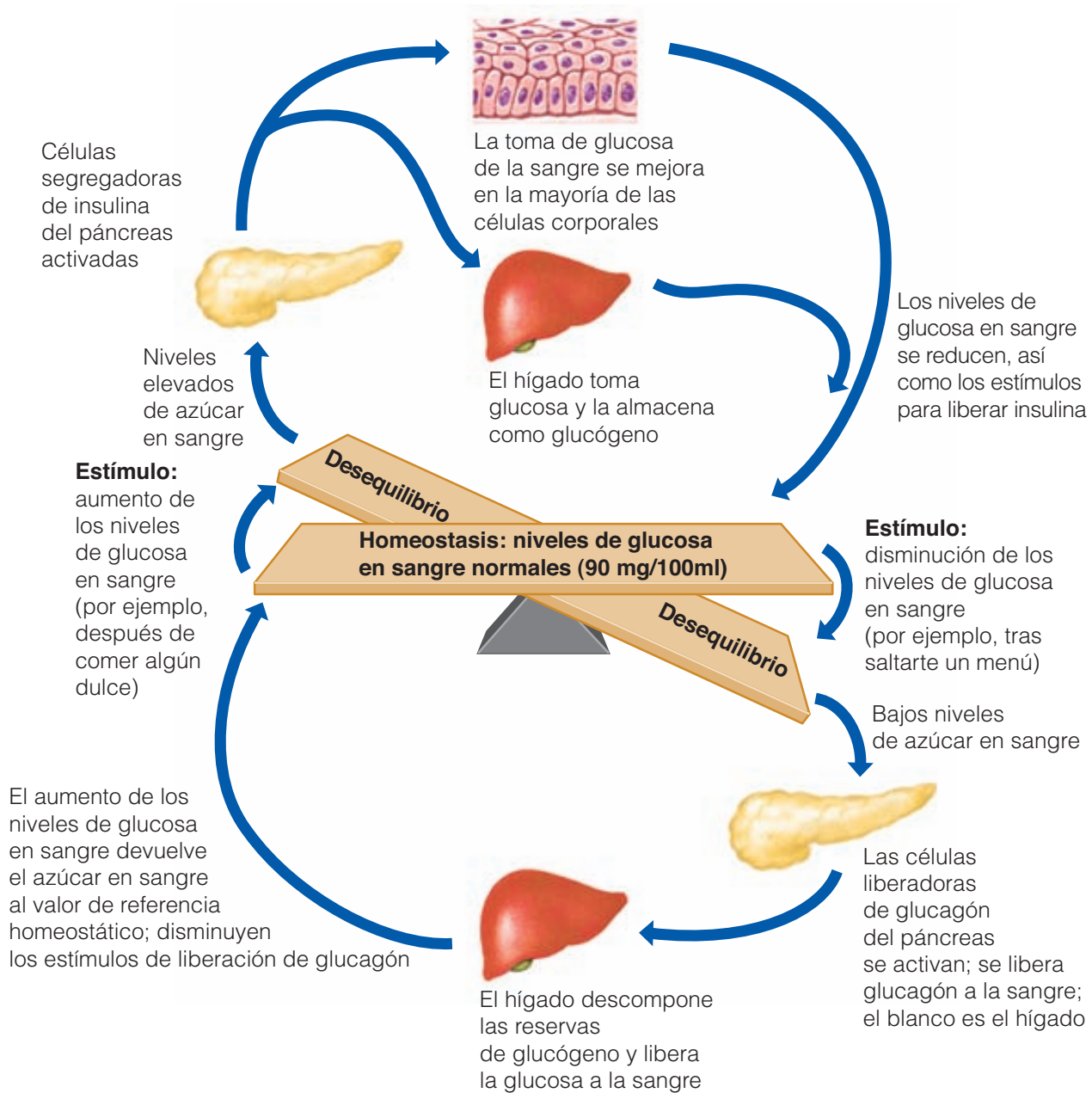


FIGURA 9.15 Regulación de los niveles de glucosa en sangre mediante un mecanismo de retroalimentación negativa en relación con las hormonas pancreáticas.

R El glucagón impide las actividades del hígado, de forma que la capacidad del hígado de realizarlas disminuye cuando aumenta el nivel de glucagón en sangre.

La glándula pineal

La **glándula pineal**, también denominada **cuerpo pineal**, es una glándula pequeña con forma de cono que cuelga del tejido del tercer ventrículo del cerebro (véase la Figura 9.3). La función endocrina de esta pequeña glándula sigue siendo un misterio en cierta medida. Aunque muchas sustancias químicas se han identificado en la glándula pineal, sólo la hormona **melatonina** parece ser segregada en cantidades importantes. Los niveles de melatonina suben y bajan a lo largo del día y la noche. Los máximos niveles se producen por la noche y nos hacen tener sueño, mientras que los menores niveles tienen lugar durante la luz del día, alrededor del mediodía. Se cree que la melatonina es un desencadenante del sueño que desempeña un papel importante a la hora de establecer el círculo día-noche del organismo. En algunos animales, la melatonina ayuda a regular el comportamiento y los ritmos de apareamiento. En los seres humanos se cree que coordina las hormonas de fertilidad e inhibe al sistema reproductivo (especialmente los ovarios) de forma que la maduración sexual no suceda antes de que se haya alcanzado el tamaño corporal adulto.

La glándula timo

La **glándula timo** se encuentra en el tórax superior, detrás del esternón. Esta glándula tiene un tamaño grande en la infancia y disminuye a lo largo de la edad adulta. En la edad anciana está compuesta principalmente de tejido conectivo fibroso y grasa. El timo produce una hormona llamada **timosina** y otras que parecen ser fundamentales para el normal desarrollo de un grupo especial de glóbulos blancos (*linfocitos T*, o *células T*) y la respuesta inmune. La función del timo (y sus hormonas) en la inmunidad se describe en el Capítulo 12.

Las gónadas

Las gónadas femeninas y masculinas (véase la Figura 9.3) producen hormonas sexuales que son idénticas a las producidas por las células de la corteza suprarrenal. Las principales diferencias son la fuente y las cantidades relativas que se producen.

Las hormonas de los ovarios

Las **gónadas** femeninas, u **ovarios**, son órganos parejos del tamaño de una almendra situados en la cavidad pélvica. Además de producir las células sexuales femeninas (huevos u óvulos), los ovarios producen dos grupos de hormonas esteroides, **estrógenos** y **progesterona**.

Los estrógenos son los responsables del desarrollo de las características sexuales de las mujeres (crecimiento primario y maduración de los órganos reproductivos) y la aparición de características sexuales secundarias (pelo en la zona púbica y en las axilas). Si actúan con la progesterona, los estrógenos promueven el desarrollo del pecho y los cambios cíclicos en el fero uterino (el **ciclo menstrual**).

La progesterona, como ya hemos comentado, actúa junto con los estrógenos para producir el ciclo menstrual. Durante el embarazo, mantiene calmados los músculos del útero de forma que un embrión implantado no sea abortado y ayuda a preparar el tejido del pecho para la lactancia.

Los ovarios se estimulan para que liberen sus estrógenos y la progesterona de forma cíclica mediante la acción de las hormonas gonadotrópicas hipofisarias anteriores. Se proporcionan más detalles sobre este ciclo de retroalimentación y la estructura, el funcionamiento, así como los controles de los ovarios, en el Capítulo 16, pero debería resultar obvio que la hiposecreción de las hormonas de los ovarios dificulta gravemente la capacidad de una mujer para concebir y gestar niños.

Las hormonas de los testículos

La pareja de **testículos** ovales de los varones están suspendida en un saco, el *escroto*, fuera de la cavidad pélvica. Además de las células sexuales masculinas, o *esperma*, los testículos también producen las hormonas sexuales masculinas, o **andrógenos**, de los que la **testosterona** es la más importante. En la pubertad, la testosterona promueve el crecimiento y la maduración de los órganos del sistema reproductivo para preparar a los jóvenes para la reproducción. Asimismo, es la causante de las características sexuales secundarias de los varones (crecimiento del pelo de la cara, desarrollo de huesos pesados y músculos, y agravamiento de la voz) para estimular la predominancia sexual del varón.

En adultos, la testosterona resulta necesaria para la producción continua de esperma. En los casos de hiposecreción, el varón se vuelve estéril; dichos casos se tratan mediante inyecciones de testosterona. La liberación de hormonas gonadales está controlada por las gonadotropinas hipofisarias anteriores, como se ha descrito con anterioridad. La producción de testosterona está estimulada específicamente por LH. El Capítulo 16, que trata del sistema reproductivo, contiene más información sobre la estructura y la función exocrina de los testículos.

La Tabla 9.1 resume las glándulas endocrinas principales y algunas de sus hormonas.

TABLA 9.1

Principales glándulas endocrinas y algunas de sus hormonas






Glándula		Hormona	Clase química	Acciones representativas	Regulado por
Cuerpo pineal		Melatonina	Amina	Involucrado en el ritmo biológico (diario y temporal)	Ciclos claro/oscurο
Hipotálamo		Hormonas liberadas por la hipófisis posterior. Hormonas liberadoras e inhibitoras que regulan la hipófisis anterior (véase más abajo)			
Hipófisis		Oxitocina	Péptido	Estimula la contracción del útero y el reflejo de expulsión de la leche	Sistema nervioso (hipotálamo) en respuesta al estiramiento uterino y el amamantamiento de un niño
		Hormona antidiurética (ADH)	Péptido	Promueve la retención del agua por parte de los riñones	Hipotálamo en respuesta al desequilibrio agua/sal
• Lóbulo anterior		Hormona del crecimiento (GH)	Proteína	Estimula el crecimiento (especialmente de los huesos y músculos) y el metabolismo	Liberación hipotalámica y las hormonas inhibitoras
		Prolactina (PRL)	Proteína	Estimula la producción de leche	Hormonas hipotalámicas
		Hormona estimuladora de folículos (FSH)	Proteína	Estimula la producción de óvulos y esperma	Hormonas hipotalámicas
		Hormona luteneizadora (LH)	Proteína	Estimula los ovarios y testículos	Hormonas hipotalámicas
		Hormona estimulante de la tiroides (TSH)	Proteína	Estimula la glándula tiroides	Tiroxina en la sangre; hormonas hipotalámicas
		Hormona adrenocorticotrópica (ACTH)	Proteína	Estimula la corteza suprarrenal para que segregue glucocorticoides	Glucocorticoides; hormonas hipotalámicas
Glándula tiroides		Tiroxina (T ₄) y triyodotironina (T ₃)	Amina	Estimula el metabolismo	TSH

TABLA 9.1 (continuación)

Glándula	Hormona	Clase química	Acciones representativas	Regulado por
Glándula tiroides	Calcitonina	Péptido	Reduce el nivel de calcio en sangre	Nivel de calcio en sangre
Glándulas paratiroides	 Hormona paratiroidea (PTH)	Péptido	Eleva el nivel de calcio en sangre	Nivel de calcio en sangre
Glándula timo	 Timosina	Péptido	"Programas" linfocitos T	Desconocido
Glándulas adrenales				
• Médula suprarrenal	 Adrenalina y noradrenalina	Aminas	Eleva el nivel de glucosa en sangre, incrementa el ritmo del metabolismo, constriñe determinados vasos sanguíneos	Sistema nervioso (división simpática)
• Corteza suprarrenal	 Glucocorticoides	Esteroides	Aumenta la glucosa en sangre	ACTH
	Mineralocorticoides	Esteroides	Promueve la reabsorción de Na ⁺ y la excreción de K ⁺ en los riñones	Cambios en el volumen y la presión sanguínea, niveles de K ⁺ (potasio) o Na ⁺ en sangre
Páncreas	 Insulina	Proteína	Reduce la glucosa en sangre	Nivel de glucosa en sangre
	Glucagón	Proteína	Eleva la glucosa en sangre	Nivel de glucosa en sangre
Gónadas				
• Testículos	 Andrógenos	Esteroides	Promueve la formación de esperma, desarrollo y mantenimiento de las características sexuales masculinas secundarias	FSH y LH
• Ovarios	 Estrógenos	Esteroides	Estimula el crecimiento del forro uterino, desarrollo y mantenimiento de las características sexuales femeninas secundarias	FSH y LH
	Progesterona	Esteroides	Promueve el crecimiento de la vida en el útero	FSH y LH

¿LO HAS ENTENDIDO?

17. ¿Qué hormona se denomina la hormona del sueño y que órgano endocrino la produce?
18. ¿Cómo ayudan la timosina y otras hormonas a proteger el organismo?
19. ¿Qué hormona gonadal hace que una chica joven desarrolle características femeninas en la pubertad: los estrógenos o la progesterona?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

Otros tejidos y órganos que producen hormonas

Aparte de los principales órganos endocrinos, se encuentran bolsas de células productoras de hormonas en el tejido adiposo y en las paredes del intestino delgado, el estómago, los riñones y el corazón; órganos cuyas funciones principales tienen poco que ver con la producción de hormonas. Debido a que la mayoría de estas hormonas se describen en capítulos posteriores, sólo se resumen las principales características en la Tabla 9.2. A continuación únicamente trataremos las hormonas de la placenta.

La placenta

La **placenta** es un órgano importante formado de forma temporal en el útero de las mujeres en estado. Además de las funciones relacionadas con el sistema respiratorio, excretor y de nutrición del feto, también produce diversas proteínas y hormonas esteroideas que ayudan a mantener el embarazo y allanan el camino para el parto.

En los primeros momentos del embarazo el embrión en desarrollo produce una hormona denominada **gonadotropina coriónica humana (hCG)** y con posterioridad la produce la parte fetal de la placenta. Al igual que la LH (hormona luteinizante), la hCG estimula los ovarios para que éstos *continúen* produciendo estrógeno y progesterona, de forma que el forro del útero no mude con la menstruación. (Las pruebas de embarazo que se venden en las tiendas analizan la presencia de hCG en la orina de la mujer). En el tercer mes de embarazo, la placenta asume la labor de producir estrógeno y progesterona, y los ovarios se vuelven inactivos para el resto del embarazo. Los altos niveles de estrógeno y progesterona en sangre mantienen el forro del útero (y, por tanto, el embarazo) y preparan los pechos para producir leche.

El **lactógeno placentario humano (hPL)** trabaja junto con el estrógeno y la progesterona en la preparación de los pechos para la lactancia. La **relaxina**, otra hormona placentaria, hace que los ligamentos pélvicos de la madre y la sínfisis púbica se relajen y sean más flexibles, lo que facilita el alumbramiento.

Formación y desarrollo del sistema endocrino

El desarrollo embrionario de las glándulas endocrinas varía. La hipófisis se deriva del epitelio de la cavidad oral y un saliente de un tejido nervioso del hipotálamo. El cuerpo pineal es un tejido nervioso por completo. Las glándulas epiteliales se desarrollan como pequeñas evaginaciones de la mucosa del tracto digestivo. Éstas son la tiroides, el timo y el páncreas. La formación de las gónadas y las glándulas adrenales y paratiroides resulta mucho más compleja y no se trata aquí.

A menos que existan disfunciones claras de las glándulas endocrinas, la mayoría de los órganos endocrinos parecen funcionar adecuadamente hasta la vejez. En la mediana edad la eficiencia de los ovarios comienza a decaer, lo que provoca la **menopausia** (denominada comúnmente “el cambio de vida”). Durante este periodo, los órganos reproductivos de una mujer comienzan a atrofiarse y la capacidad de engendrar hijos termina. Comienzan a aparecer problemas asociados a la deficiencia de estrógenos, tales como la arterosclerosis, osteoporosis, menor elasticidad de la piel, y se producen cambios en el funcionamiento del sistema nervioso simpático que dan como resultado “golpes de calor”. Además, son comunes la fatiga, el estado de nervios y los cambios de humor como la depresión. No suelen ocurrir cambios tan dramáticos en los varones. De hecho, muchos varones se mantienen fértiles a lo largo de toda su vida, lo que indica que la testosterona se sigue produciendo en cantidades adecuadas.

La eficiencia del sistema endocrino en su conjunto se reduce de forma gradual en la vejez. Los fuertes cambios en las mujeres de edad avanzada se deben a la disminución de los niveles de hormonas femeninas y no importa que la producción de la hormona del crecimiento por parte de la hipófisis anterior disminuya, lo que en parte explica el atrofia muscular de la vejez. Las personas mayores son menos capaces de resistir el estrés y la infección. Esta resistencia disminuida puede resultar en una superproducción o producción menor de las hormonas defensivas, dado que ambas “hacen descarrilar” el equilibrio de defensa ante el estrés y alteran el

TABLA 9.2

Hormonas producidas por otros órganos distintos a los principales órganos endocrinos

Hormonas	Composición química	Fuente	Estímulo para la secreción	Órganos blanco/efectos
Prostaglandinas (PG), varios grupos indicados por las letras A-I (PGA-PGI)	Derivadas de las moléculas de ácidos grasos	Membranas de plasma de casi todas las células corporales	Varios (local, irritación, hormonas, etc.)	Tienen muchos blancos, pero actúan de forma local en el lugar de liberación. Entre los ejemplos de efectos encontramos: aumento de la presión sanguínea actuando como vasoconstrictores, constricción de las vías respiratorias, estimulación de los músculos del útero, favorecimiento del parto, mejora de la coagulación de la sangre, aumento de las segregaciones digestivas del estómago, fiebre.
Gastrina	Péptido	Estómago	Comida	<i>Estómago</i> : estimula las glándulas para que liberen ácido clorhídrico (HCl).
Gastrina intestinal	Péptido	Duodeno del intestino delgado	Comida, especialmente grasas	<i>Estómago</i> : impide la secreción de HCl y la movilidad del tracto gastrointestinal.
Secretina	Péptido	Duodeno	Comida	<i>Páncreas</i> : estimula la liberación de fluido rico en bicarbonato. <i>Hígado</i> : estimula la liberación de la bilis. <i>Estómago</i> : disminuye las secreciones.
Pancreomicina (CCK)	Péptido	Duodeno	Comida	<i>Páncreas</i> : estimula la liberación de fluido rico en enzimas. <i>Vesícula biliar</i> : estimula la expulsión de la bilis almacenada. <i>Papilla duodenal</i> : hace que el esfínter se relaje, lo que permite que la bilis y el jugo pancreático entren en el duodeno.
Eritropoietina	Glucoproteína	Riñón	Hipoxia	<i>Médula ósea</i> : estimula la producción de glóbulos rojos.
Vitamina activa D ₃	Esteroides	Riñón (activa la provitamina D fabricada por las células epidérmicas)	PTH	<i>Intestino</i> : estimula el transporte activo del calcio proveniente de la dieta a lo largo de las membranas celulares del intestino.
Péptido natriurético auricular (ANP)	Péptido	Corazón	Estiramiento de las aurículas del corazón	<i>Riñón</i> : impide la reabsorción de iones de sodio y la liberación de renina. <i>Corteza suprarrenal</i> : impide la secreción de aldosterona, lo que reduce el volumen y la presión sanguíneas.
Leptina	Péptido	Tejido adiposo	Comidas grasientas	<i>Cerebro</i> : suprime el apetito y aumenta el gasto de energía.
Resistina	Péptido	Tejido adiposo	Desconocido	<i>Grasa, músculo, hígado</i> : antagoniza la acción de la insulina en las células del hígado.

SISTEMAS INTERRELACIONADOS

RELACIONES HOMEOSTÁTICAS ENTRE EL SISTEMA ENDOCRINO Y LOS DEMÁS SISTEMAS DEL ORGANISMO

Sistema endocrino

Sistema linfático/inmunológico

- Los linfocitos “programados” por las hormonas del timo siembran los nodos de la linfa; los glucocorticoides disminuyen la respuesta inmune y la inflamación.
- La linfa proporciona una ruta para transportar las hormonas.

Sistema digestivo

- Las hormonas gastrointestinales (GI) locales influyen el funcionamiento de las GI; vitamina D necesaria para reabsorber el calcio desde la dieta activada; las catecolaminas influyen en la actividad del sistema digestivo.
- El sistema digestivo proporciona nutrientes a los órganos endocrinos.

Sistema urinario

- La aldosterona y la ADH influyen en la función renal; la eritropoietina liberada por los riñones promueve la formación de glóbulos rojos.
- Los riñones activan la vitamina D (considerada una hormona).

Sistema muscular

- La hormona del crecimiento resulta esencial para el desarrollo muscular normal; otras hormonas (tiroxina y catecolaminas) influyen en el metabolismo muscular.
- El sistema muscular protege de forma mecánica algunas glándulas endocrinas; la actividad muscular promueve la liberación de catecolamina.

Sistema nervioso

- Muchas hormonas (hormona del crecimiento, tiroxina, hormonas sexuales) influyen en la maduración normal y el funcionamiento del sistema nervioso.
- El hipotálamo controla el funcionamiento de la hipófisis anterior.

Sistema respiratorio

- La adrenalina influye en la ventilación (dilata los bronquiolos).
- El sistema respiratorio proporciona oxígeno; elimina el dióxido de carbono; al convertir las enzimas en los pulmones convierte la angiotensina I en angiotensina II.

Sistema cardiovascular

- Varias hormonas influyen en el volumen de la sangre, la presión sanguínea y la contractilidad del corazón; la eritropoietina estimula la producción de glóbulos rojos.
- La sangre es el principal medio de transporte de las hormonas; el corazón produce péptidos natriuréticos auriculares.

Sistema reproductor

- Las hormonas del hipotálamo, la hipófisis anterior y las gónadas dirigen el funcionamiento y el desarrollo del sistema reproductivo; la oxitocina y la prolactina están relacionadas con el nacimiento y el amamantamiento.
- Las hormonas gonadales se retroalimentan para influir en el funcionamiento del sistema endocrino.

Sistema integumentario

- Los andrógenos activan las glándulas sebáceas; los estrógenos aumentan la hidratación de la piel.
- La piel produce un precursor de vitamina D (colecalfiferol o provitamina D).

Sistema esquelético

- El PTH resulta importante a la hora de regular los niveles de calcio en sangre; la hormona del crecimiento, T_3 y T_4 , y las hormonas sexuales resultan necesarias para el desarrollo esquelético normal.
- El esqueleto protege a algunos órganos endocrinos, especialmente los del cerebro, el pecho y la pelvis.

metabolismo general del organismo. De forma adicional, la exposición a muchos pesticidas, productos químicos, dioxina y otros contaminantes de la tierra y el agua disminuye la función endocrina, lo que puede explicar las mayores tasas de cáncer entre los adultos mayores en ciertas zonas de EE. UU. Las personas mayores suelen tener un ligero hipotiroidismo, y todas las personas mayores registran un descenso en la producción de insulina. La diabetes tipo 2 es más común en este grupo de edad.

¿LO HAS ENTENDIDO?

20. ¿Qué dos órganos del sistema digestivo son importantes fuentes de hormonas asociadas a la digestión?
21. ¿Qué órgano temporal produce las mismas hormonas que los ovarios?
22. ¿Cuál es el órgano cuya disfunción produce la menopausia en las mujeres?

Véanse las respuestas en el Apéndice D.

RESUMEN

A continuación se presentan unas herramientas de estudio interactivo que sirven a modo de repaso adicional de los temas clave del Capítulo 9.

IP = *InterActive Physiology*

WEB = The A&P Place

El sistema endocrino y el funcionamiento de las hormonas. Visión general (págs. 310-313)

1. El sistema endocrino es uno de los sistemas principales de control del organismo. Por medio de las hormonas estimula procesos de larga duración como el crecimiento y el desarrollo, el metabolismo, la reproducción y la defensa del organismo.
2. Los órganos endocrinos son pequeños y se encuentran ampliamente separados en el organismo. Algunos forman parte de las glándulas mixtas (endocrinas y exocrinas). Otros simplemente producen hormonas.
3. Casi todas las hormonas tienen base de aminoácidos o esteroides.
4. Los órganos endocrinos se activan para liberar sus hormonas a la sangre mediante estímulos hormonales, humorales o nerviosos. La retroalimentación negativa resulta importante a la hora de regular niveles hormonales en la sangre.
5. Las hormonas transportadas en la sangre alteran las actividades de sus órganos diana. La capacidad de un órgano blanco para responder a una hormona depende de la presencia de receptores en o sobre las células a las que la hormona se une o adhiere.
6. Las hormonas con base de aminoácidos actúan por medio de segundos mensajeros. Las hormonas esteroideas influyen directamente en el DNA de las células blanco.

IP Endocrine System; Topic: Endocrine System Review, págs. 1-5.

WEB Actividad: Chapter 9, Hormones and Their Target Cells.

Los principales órganos endocrinos

(págs. 313-332)

1. La hipófisis
 - a. La hipófisis cuelga del hipotálamo del cerebro por un tallo y está encerrada por los huesos. Se compone de una parte glandular (anterior) y una neural (posterior).
 - b. A excepción de la hormona del crecimiento y la prolactina, las hormonas hipofisarias anteriores son todas hormonas trópicas.
 - (1) La hormona del crecimiento (GH): una hormona anabólica y conservadora de proteínas que promueve el crecimiento corporal total. Su efecto más importante se encuentra en los músculos esqueléticos y en los huesos. La hiposecreción no tratada durante la infancia da como resultado un enanismo pituitario; la hipersecreción produce gigantismo (en la infancia) y acromegalia (en la edad adulta).
 - (2) Prolactina (PRL): estimula la producción de la leche de los pechos.
 - (3) La hormona adrenocorticotrópica (ACTH): estimula la corteza suprarrenal para liberar sus hormonas.
 - (4) La hormona estimuladora de la tiroides (TSH): estimula la glándula tiroides para que libere las hormonas tiroideas.
 - (5) Hormonas gonadotrópicas
 - (a) Hormona estimulante de los folículos (FSH): desde la pubertad estimula el desarrollo de folículos y la producción de estrógenos por parte de los ovarios de las mujeres; favorece la producción de espermatozoides en el varón.
 - (b) Hormona luteinizante (LH): desde la pubertad estimula la ovulación y hace que el folículo roto del ovario produzca progesterona; estimula los testículos masculinos para producir testosterona.

- c. La liberación y la inhibición de hormonas por parte del hipotálamo regulan la liberación de hormonas por parte de la hipófisis anterior. El hipotálamo también crea dos hormonas que se transportan a la hipófisis posterior para el almacenamiento y la liberación posterior.

IP Endocrine System; Topic: Hypothalamic-Pituitary Axis, págs. 1-3.

- d. La hipófisis posterior almacena y libera hormonas hipotalámicas cuando es necesario.
- (1) Oxitocina: estimula las potentes contracciones uterinas y provoca la expulsión de la leche en las madres.
 - (2) La hormona antidiurética (ADH): hace que las células tubulares del riñón reabsorban y conserven el agua corporal y aumente la presión sanguínea al constreñir los vasos sanguíneos. La hiposecreción lleva a la diabetes insípida.

WEB Actividad: Chapter 9, Endocrine Case Study.

2. La glándula tiroides

- a. La glándula tiroides se encuentra en la parte delantera de la garganta.
- b. La hormona tiroidea (tiroxina [T_4] y triyodotironina [T_3]) se liberan de los folículos tiroideos cuando aumentan los niveles en sangre de TSH. La hormona tiroidea es la hormona metabólica del organismo. Aumenta el ritmo al que las células oxidizan la glucosa y resulta necesaria para un crecimiento y desarrollo normales. La falta de yodina produce bocio. La hiposecreción de tiroxina da como resultado cretinismo en los niños y mixedema en adultos. La hipersecreción resulta de la enfermedad de Graves u otras formas de hipertiroidismo.

IP Endocrine System; Topic: Hormone Imbalances, pág. 3.

WEB Actividad: Chapter 9, At the Clinic: Endocrine System.

- c. Las células parafoliculares que rodean los folículos tiroideos liberan la calcitonina como respuesta a los altos niveles de calcio en sangre. Hace que el calcio se deposite en los huesos.

3. Las glándulas paratiroides

- a. Las glándulas paratiroides son cuatro glándulas pequeñas situadas en la parte posterior de la glándula tiroides.
- b. Los bajos niveles de calcio en sangre estimulan las glándulas paratiroides para que liberen la hormona paratiroidea (PTH). Hace que el calcio de los huesos se libere a la sangre. La hiposecreción de PTH resulta en tétanos; la hipersecreción lleva a un deterioro extremo de los huesos y a fracturas.

WEB Actividad: Exercise: Chapter 9, Ionic Calcium Levels in the Blood.

4. Las glándulas adrenales

- a. Las glándulas adrenales son glándulas emparejadas colocadas sobre los riñones. Cada glándula tiene dos partes endocrinas funcionales, la corteza y la médula.
- b. Entre las hormonas de la corteza suprarrenal se encuentran:
 - (1) Los mineralocorticoides, especialmente aldosterona, regulan los iones de sodio (Na^+) y la reabsorción de potasio (K^+) por parte de los riñones. Su liberación está estimulada principalmente por bajos niveles de Na^+ y altos niveles de K^+ en la sangre.
 - (2) Los glucocorticoides preparan el cuerpo para resistir el estrés a largo plazo mediante el aumento de los niveles de glucosa en sangre y la reducción de la respuesta inflamatoria.
 - (3) Las hormonas sexuales (principalmente andrógenos) se producen en pequeñas cantidades a lo largo de la vida.

- c. La hipoactividad generalizada de la corteza suprarrenal da como resultado la enfermedad de Addison. La hipersecreción puede dar como resultado el hiperaldosteronismo, la enfermedad de Cushing y la masculinización.
- d. La médula suprarrenal produce catecolaminas (adrenalina y noradrenalina) en respuesta a la estimulación del sistema nervioso simpático. Las catecolaminas mejoran y prolongan los efectos de la respuesta de "lucha o huida" (sistema nervioso simpático) al estrés a corto plazo. La hipersecreción lleva a síntomas típicos de la actividad excesiva del sistema nervioso simpático.

IP Endocrine System; Topic: Hormone Imbalances, págs. 4-5.

5. Islotes pancreáticos

- a. Situado en el abdomen cerca del estómago, el páncreas es una glándula exocrina y endocrina. La parte endocrina (islotes) libera insulina y glucagón a la sangre.
- b. La insulina se libera cuando los niveles en sangre de glucosa son altos. Aumenta el ritmo de consumo de glucosa y el metabolismo de las células corporales. La hiposecreción de la insulina da como resultado la diabetes *mellitus*, que perturba gravemente el metabolismo corporal. Los principales síntomas son la poliuria, la polidipsia y la polifagia.
- c. El glucagón, liberado cuando los niveles de glucosa en sangre son bajos, estimula el hígado para que libere glucosa a la sangre, lo que aumenta los niveles de glucosa en la sangre.

IP Endocrine System; Topic: Hormone Imbalances, pág. 2.

WEB Actividad: Chapter 9, Regulation of Blood Sugar Levels by Insulin and Glycogen.

6. La glándula pineal, situada detrás del tercer ventrículo del cerebro, libera melatonina, que afecta tanto al sueño como a los biorritmos y al comportamiento reproductivo en los animales.
7. La glándula timo, situada en la parte superior del tórax, funciona durante la juventud y se atrofia en la vejez. Su hormona, la timosina, favorece la maduración de linfocitos T.
8. Las gónadas
 - a. Los ovarios de las mujeres liberan lo siguiente:
 - (1) Estrógenos: la liberación de estrógenos por parte de los folículos de los ovarios comienza con la pubertad bajo la influencia de FSH. Los estrógenos estimulan la maduración de los órganos reproductivos femeninos y las características sexuales secundarias femeninas. Son responsables del ciclo menstrual junto con la progesterona.
 - (2) Progesterona: la progesterona se libera de los ovarios como respuesta a altos niveles de LH en la sangre. Colabora con los estrógenos en la estabilización del ciclo menstrual.
 - b. Los testículos del varón comienzan a producir testosterona en la pubertad como respuesta a la estimulación de LH. La testosterona favorece la maduración de los órganos reproductivos masculinos y las características secundarias sexuales de los varones, así como la producción de esperma por parte de los testículos.
 - c. La hiposecreción de las hormonas gonadales resulta en esterilidad tanto en los varones como en las mujeres.

Otros tejidos y órganos que producen hormonas (pág. 332)

1. La placenta es un órgano temporal formado en el útero de las mujeres embarazadas. Su principal función endocrina consiste en producir estrógenos y progesterona, que mantiene el embarazo y los pechos preparados para la lactancia.
2. Varios órganos que son generalmente no endocrinos en su funcionamiento general, como el estómago, el intestino delgado, los riñones y el corazón, tienen células que segregan hormonas.
3. Algunas células cancerígenas segregan hormonas.

Formación y desarrollo del sistema endocrino (págs. 332, 335)

1. En ausencia de enfermedades, la eficiencia del sistema endocrino se mantiene alta hasta la vejez.
2. El empeoramiento del funcionamiento de los ovarios en la menopausia produce síntomas como osteoporosis, mayor riesgo de enfermedades coronarias y posibles cambios de humor.

3. La eficiencia de todas las glándulas endocrinas se reduce de forma gradual con el paso de los años, los que lleva a un aumento generalizado de problemas como la diabetes *mellitus*, depresión del sistema inmune, menor ritmo metabólico y, en algunas zonas, cáncer.

PREGUNTAS DE REPASO

Respuesta múltiple

Puede haber más de una respuesta correcta.

1. Los principales órganos endocrinos del organismo
 - a. tienden a ser órganos muy grandes.
 - b. están estrechamente conectados entre sí.
 - c. todos contribuyen a la misma función (digestión).
 - d. tienden a estar situados cerca de la línea media del organismo.
2. ¿Cuál de las siguientes afirmaciones sobre las hormonas es verdadera?
 - a. Las glándulas exocrinas las producen.
 - b. Viajan por el organismo en la sangre.
 - c. Afectan sólo a los órganos que no producen hormonas.
 - d. Todas las hormonas esteroides producen efectos fisiológicos muy similares en el organismo.
3. ¿Cuál de las siguientes hormonas segregan las neuronas?

a. Oxitocina.	c. ADH.
b. Insulina.	d. Cortisol.
4. ANP, la hormona segregada por el corazón, tiene exactamente la función opuesta a esta hormona segregada por la zona más exterior de la corteza suprarrenal.

a. Adrenalina.	c. Aldosterona.
b. Cortisol.	d. Testosterona.
5. ¿Cuál de las siguientes hormonas actúa directamente o indirectamente para elevar la glucosa en sangre?

a. GH.	c. Insulina.
b. Cortisol.	d. ACTH.
6. La hipertensión puede resultar de la hiposecreción de

a. tiroxina.	c. aldosterona.
b. cortisol.	d. ADH.
7. Entre las hormonas que regulan los niveles de sales minerales se encuentran la

a. calcitonina.	c. péptido natriurético auricular.
b. aldosterona.	d. glucagón.
8. ¿Cuál de las siguientes se administra como un fármaco para reducir la inflamación?

a. Adrenalina.	c. Aldosterona.
b. Cortisol.	d. ADH.

9. El elemento necesario para el funcionamiento de la glándula tiroides es
- | | |
|-------------|--------------|
| a. potasio. | c. calcio. |
| b. yodina. | d. magnesio. |

Respuesta breve

10. Explica en qué se diferencian los sistemas nervioso y endocrino en relación con **(a)** su grado de control, **(b)** el modo en que se comunican con las células corporales y **(c)** los tipos de procesos corporales que controlan.
11. ¿Que órganos endocrinos son realmente glándulas mixtas (endocrinas y exocrinas)? ¿Cuáles son puramente endocrinos?
12. Describe la naturaleza química de las hormonas.
13. Proporciona un ejemplo de cada forma en que las glándulas se estimulan para liberar hormonas.
14. Define *retroalimentación negativa* y explica cómo regula los niveles en sangre de las diversas hormonas.
15. Explica por qué no todos los órganos son órganos blanco para todas las hormonas.
16. Describe la ubicación corporal de cada uno de los siguientes órganos endocrinos: la hipófisis anterior, la glándula pineal, el timo, el páncreas, los ovarios, los testículos. Después, para cada órgano, nombra sus hormonas y sus efectos en los procesos corporales. Finalmente, para cada hormona, cita los resultados más destacables de la hiposecreción e hipersecreción.
17. Nombra dos glándulas productoras de endocrinas (o regiones) que sean importantes en la respuesta al estrés y explica *por qué* son importantes.
18. La hipófisis anterior a menudo se conoce como la glándula endocrina maestra, pero ella también tiene un/a “maestro/a”. ¿Qué controla la liberación de hormonas por parte de la hipófisis anterior?
19. ¿Cuál es la causa más común de hipersecreción de los órganos endocrinos?
20. Cita tres antagonistas hormonales de la insulina y uno de PTH.
21. Dos hormonas están estrechamente relacionadas con la regulación del equilibrio de fluidos y de electrolitos del organismo. Cítalas y explica los efectos de su órgano diana común.
22. ¿Qué produce el bocio?
23. En general, el sistema endocrino se vuelve menos eficiente a medida que envejecemos. Cita algunos ejemplos de problemas que tienen las personas mayores como resultado del descenso en la producción de hormonas.



PENSAMIENTO CRÍTICO Y APLICACIÓN A LA PRÁCTICA CLÍNICA

24. Una mujer con pelo corporal excesivo y una voz profunda muestra los síntomas exteriores de una disfunción hormonal. ¿De cuál se trata?
25. Los padres de una niña de 14 años están preocupados por su altura porque mide sólo 1,20 m y ellos dos miden cerca de 1,80 m. Después de que el doctor le realizara unas pruebas, se le prescriben algunas hormonas a la niña. ¿Cuál es el diagnóstico probable? ¿Qué hormonas se le prescriben y por qué puede tener esperanzas la niña de alcanzar una estatura normal?
26. Paula, de 28 años de edad, lleva 15 horas en la primera fase del parto. Sus contracciones uterinas son débiles y el parto no está progresando de forma normal. Paula y su doctor desean un parto vaginal, de forma que el médico ordena que se le inyecte pitocina (una oxitocina sintética). ¿Cuál es el efecto de esta hormona?
27. El señor Rodríguez lleva a su mujer a la clínica preocupado por su estado de nerviosismo, las palpitaciones y el sudor excesivo. Las pruebas muestran hiperglucemia e hipertensión. ¿Qué hormonas se están hiposegregando probablemente? ¿A qué se debe? ¿Qué factores físicos nos permiten descartar problemas de tiroides?
28. ¿Cuáles son los posibles efectos dañinos derivados del uso de esteroides anabólicos para aumentar la masa y la fuerza muscular?
29. Berta González, de 40 años, acude a la clínica preocupada por el sudor en la cara y una inusual deposición de grasa en la espalda y el abdomen. Dice que le salen moretones fácilmente. Las pruebas sanguíneas muestran unos elevados niveles de glucosa en sangre. ¿Cuál es tu diagnóstico y qué glándulas pueden estar causando el problema?
30. Mariana, una vagabunda, está embarazada. No ha tenido ningún cuidado prenatal y su dieta se compone de lo que encuentra en los cubos de basura. ¿Qué podrías suponer acerca de los niveles de PTH de su sangre?
31. Ricardo presentaba síntomas de secreción excesiva de PTH (altos niveles de calcio en sangre) y los médicos estaban seguros de que tenía un tumor en la glándula paratiroides. Sin embargo, cuando le operaron en el cuello, el cirujano no pudo encontrar la glándula paratiroides. ¿Dónde debería buscar el cirujano la glándula paratiroides tumoral?