



SISTEMA ENDOCRINO

Foliculo ovárico (SEM). Las células dispuestas en capas de la pared folicular secretan hormonas esteroideas. El óvulo es la célula grande de color rosado.

ESQUEMA DEL CAPÍTULO

- 17.1 Revisión general del sistema endocrino 634**
- Comparación entre las glándulas endocrinas y exocrinas 634
 - Comparación entre los sistemas nervioso y endocrino 636
 - Nomenclatura hormonal 637
- 17.2 Hipotálamo e hipófisis 637**
- Anatomía 638
 - Hormonas hipotalámicas 640
 - Hormonas de la adenohipófisis 641
 - La parte intermedia 642
 - Hormonas de la neurohipófisis 642
 - Control de la secreción hipofisaria 643
 - Revisión adicional de la somatotropina 644
- 17.3 Otras glándulas endocrinas 645**
- Glándula pineal 645
 - Timo 645
 - Glándula tiroidea 646
 - Glándulas paratiroides 647
 - Glándulas suprarrenales 647
 - Islotes pancreáticos 650
 - Gónadas 651
 - Funciones endocrinas de otros tejidos y órganos 652

- 17.4 Hormonas y sus acciones 655**
- Química hormonal 655
 - Síntesis hormonal 656
 - Transporte hormonal 660
 - Receptores hormonales y modo de acción 660
 - Amplificación enzimática 663
 - Modulación de la sensibilidad de las células blanco 664
 - Interacciones hormonales 664
 - Eliminación de las hormonas 665

- 17.5 Tensión y adaptación 665**
- Reacción de alarma 665
 - Etapa de resistencia 665
 - Etapa de agotamiento 666

- 17.6 Eicosanoides y sistema de señales paracrina 666**

- 17.7 Trastornos endocrinos 667**
- Hiposecreción e hipersecreción 668
 - Trastornos hipofisarios 668
 - Trastornos tiroideos y paratiroides 668
 - Trastornos suprarrenales 669
 - Diabetes mellitus 670

Temas de conexión 674

Guía de estudio 675

CONOCIMIENTO MÁS A FONDO

- 17.1 Aplicación clínica: melatonina, SAD y PMS 646**
- 17.2 Aplicación clínica: receptores hormonales y terapia 660**
- 17.3 Aplicación clínica: Antiinflamatorios 667**
- 17.4 Historia médica: el descubrimiento de la insulina 672**

Repaso

- El hipotálamo es un importante centro de control concentrador para la acción hormonal, de modo que resulta importante conocer su anatomía y función (p. 528).
- Muchas hormonas son proteínas y otros péptidos. Al analizar la síntesis de esta clase de hormonas, se da por hecho que se tiene familiaridad con la estructura de las proteínas (p. 67) y con su síntesis (p. 122).
- Algunas hormonas son monoaminas, que se definieron y describieron en la página 461.
- Muchas hormonas ejercen sus efectos al unirse a proteínas de la membrana plasmática de las células blanco. Es importante tener familiaridad con las proteínas de membrana como receptoras (p. 85) y con las proteínas G, el cAMP y los segundos mensajeros (p. 86).
- Una revisión del transporte máximo (T_m) de las proteínas de membrana (p. 95) mejora la comprensión de la diabetes mellitus en este capítulo.

Para que el cuerpo funcione como un todo integrado, sus órganos deben comunicarse entre sí y coordinar sus actividades. Aun organismos simples, compuestos tan sólo por unas cuantas células, tienen mecanismos para la comunicación intercelular, lo que sugiere que esos mecanismos evolucionaron muy temprano en la historia de la vida. En humanos, dos de estos sistemas revisten una importancia especial: el nervioso y el endocrino, que se comunican mediante neurotransmisores y hormonas, respectivamente.

Casi todos han oído por lo menos de alguna hormona (p. ej., la hormona del crecimiento o la tiroidea, los estrógenos y la insulina). Al menos también resultan un poco familiares algunas de las glándulas que las secretan (como la hipófisis y la glándula tiroidea) y algunos trastornos que se deben a la deficiencia, el exceso o la disfunción hormonal, como diabetes, gota y enanismo.

En este capítulo se estudia sobre todo el sistema endocrino (hormonal). Se inicia con aspectos un poco familiares y a gran escala: una revisión de las glándulas endocrinas, sus hormonas y los principales efectos de éstas. Luego se estudian los detalles más finos y menos familiares: la identidad química de las hormonas, la manera en que están hechas, su transporte y cómo producen sus efectos en las células blanco. En secciones más breves al final del capítulo se analizan la función del sistema endocrino para adaptarse a la tensión, las características de algunas secreciones paracrinas parecidas a las hormonas y las patologías que se deben a la disfunción endocrina.

17.1 Revisión general del sistema endocrino

Resultados esperados del aprendizaje

Cuando haya completado esta sección, el estudiante podrá:

- Definir hormona y sistema endocrino.
- Mencionar varios órganos del sistema endocrino.

- Comparar las glándulas endocrinas con las exocrinas.
- Reconocer las abreviaturas estándar para muchas hormonas.
- Comparar los sistemas nervioso y endocrino.

El cuerpo cuenta con cuatro vías principales para que las células se comuniquen entre sí:

- Las uniones intercelulares comunicantes unen entre sí músculo liso de una sola unidad, músculo cardíaco, células epiteliales y de otros tipos. Permiten el paso de nutrientes, electrolitos y moléculas de señalización del citoplasma de una célula al de la siguiente, mediante poros en sus membranas plasmáticas (figura 5.28, p. 166).
- Los nervios liberan neurotransmisores que se difunden a través de una hendidura sináptica y se fijan a receptores en la superficie de la siguiente célula.
- Una célula secreta paracrinas,¹ que se difunden a las células cercanas en el mismo tejido y estimulan su fisiología. En ocasiones se les denomina *hormonas locales*.
- Las hormonas,² en sentido estricto, son mensajeros químicos transportados por la circulación sanguínea y estimulan respuestas fisiológicas en células de otro tejido u órgano, a menudo a una distancia considerable. Por ejemplo, ciertas hormonas producidas por la hipófisis, en la cabeza, actúan sobre órganos tan distantes como la cavidad pélvica.

En este capítulo se aborda sobre todo lo relacionado con las hormonas y, hasta cierto grado, las secreciones paracrinas. Las glándulas, los tejidos y las células que secretan hormonas constituyen el sistema endocrino;³ la endocrinología se encarga del estudio de este sistema y el diagnóstico y tratamiento de sus trastornos. Las fuentes de hormonas más familiares son los órganos a los que se reconocen como glándulas endocrinas: hipófisis, glándulas tiroidea y suprarrenales, entre otras (figura 17.1). Sin embargo, un creciente conocimiento endocrinológico ha revelado que una gran cantidad de órganos y tejidos, a los que no se les considera como glándulas, también secretan hormonas: encéfalo, corazón, intestino delgado, huesos y tejido adiposo, entre otros.

Comparación entre las glándulas endocrinas y exocrinas

En el capítulo 5 se examinó otra categoría de glándulas, las exocrinas. La distinción clásica entre glándulas exocrinas y endocrinas ha sido la presencia o ausencia de conductos. La mayor parte de las glándulas exocrinas secretan sus productos a través de un conducto sobre una superficie epitelial como la piel o la mucosa del tubo digestivo (véase figura 5.32, p. 170). En contraste, las glándulas endocrinas carecen de conductos y liberan sus secreciones en la circulación sanguínea. Por esta razón, a las hormonas se les llamó al principio "secreciones

¹ para = a lo largo de; krin = segregar.

² hormon = estimular, poner en movimiento.

³ endo = dentro; krin = segregar.

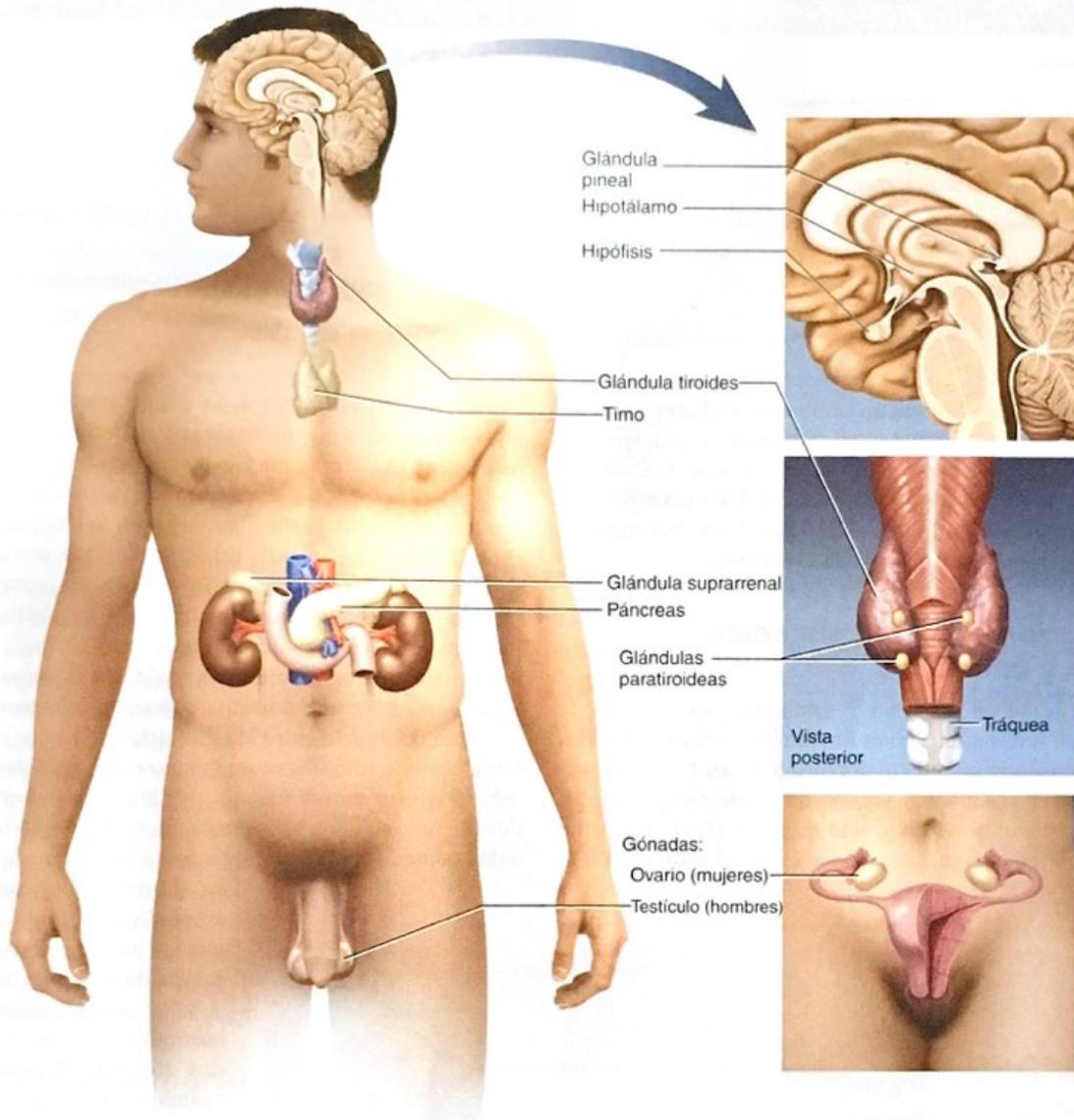


FIGURA 17.1 Principales órganos del sistema endocrino. Este sistema también incluye células glandulares en muchos otros órganos que no se muestran aquí.

● Después de leer este capítulo, mencione por lo menos tres órganos secretores de hormonas que no se muestran en esta ilustración.

APF

internas" del cuerpo —la palabra *endocrino* aún alude a este hecho—. Las secreciones exocrinas tienen efectos extracelulares, como la digestión de los alimentos, mientras que las secreciones endocrinas tienen efectos intracelulares: modifican el metabolismo celular.

Las glándulas endocrinas suelen tener una elevada densidad de capilares sanguíneos que sirven para recoger y eliminar sus hormonas. Estos vasos son un tipo muy permeable al que se le denomina *capilares fenestrados* o *perforados*, que tienen parches de poros grandes en sus paredes, lo que permite una

fácil recaptura de los materiales del tejido glandular (véase figura 20.6, p. 755).

Algunas glándulas y células secretoras desafían la clasificación simple de endocrinas y exocrinas. Por ejemplo, las células hepáticas se comportan como células exocrinas en el sentido tradicional al secretar bilis en conductos que llevan al intestino delgado. Sin embargo, también secretan hormonas en la sangre, y en este aspecto actúan como células endocrinas. También secretan albúmina y factores de coagulación sanguínea en la sangre. Esto no satisface el concepto tradicional de

CUADRO 17.1**Comparación entre los sistemas nervioso y endocrino****Sistema nervioso**

Se comunica mediante impulsos eléctricos y neurotransmisores
 Libera neurotransmisores en sinapsis en células blanco específicas
 Por lo general tiene efectos locales, específicos
 Reacciona con rapidez a los estímulos, por lo general entre 1 y 10 ms después
 Cesa con rapidez cuando se detiene el estímulo
 Se adapta con rapidez a la estimulación continua

Sistema endocrino

Se comunica mediante hormonas
 Libera hormonas para distribución mediante la circulación sanguínea a todo el cuerpo
 En ocasiones tiene efectos generales, extendidos
 Reacciona con mayor lentitud a los estímulos, y en ocasiones toma de segundos a días
 Puede seguir respondiendo mucho después de que ha cesado el estímulo
 Se adapta con relativa lentitud; puede responder durante días o semanas

secreciones exocrinas, porque no se liberan mediante conductos o en superficies epiteliales, ni satisface el concepto de secreciones endocrinas, porque no son hormonas. Las células hepáticas son sólo una de la gran cantidad de maneras que tiene la naturaleza de confundir el impulso de los humanos de establecer una clasificación rígida de las cosas.

Comparación entre los sistemas nervioso y endocrino

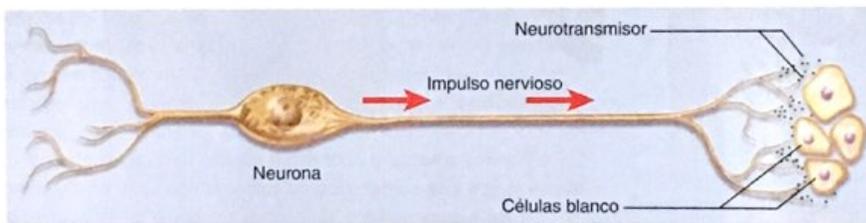
Aunque los sistemas nervioso y endocrino sirven para la comunicación interna, no son redundantes; se complementan en lugar de duplicar la función del otro (cuadro 17.1). Los sistemas difieren en sus medios de comunicación: eléctrico y químico en el sistema nervioso y sólo químico en el endocrino (figura 17.2); sin embargo, como se verá más adelante, también

tienen muchas similitudes en este punto. Además, disienten en la rapidez con la que empieza y se detiene la respuesta a los estímulos. El sistema nervioso suele responder en milisegundos, mientras que la liberación de hormonas puede seguir durante segundos hasta días después del estímulo que la ha causado. Más aún, cuando un estímulo cesa, el sistema nervioso deja de responder casi de inmediato, en tanto que algunos efectos endocrinos persisten durante varios días o semanas. Por otra parte, bajo estimulación a largo plazo, la mayor parte de las neuronas se adaptan con rapidez y su respuesta declina. El sistema endocrino muestra respuestas más persistentes.

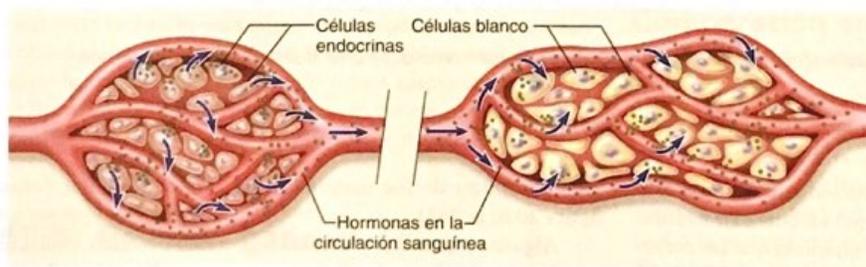
Otra diferencia entre los dos sistemas es que una fibra nerviosa eferente sólo inerva un órgano o una cantidad limitada de células dentro de ese órgano; por tanto, sus efectos tienen un destino preciso y son específicos. En contraste, las hormonas circulan por todo el cuerpo y algunas de ellas, como la somatotropina

(hormona del crecimiento), la adrenalina y la tiroidea, tienen efectos más extendidos que la respuesta de cualquier fibra nerviosa.

Pero estas diferencias no deben oscurecer las similitudes entre los dos sistemas. Diversas sustancias químicas funcionan como neurotransmisores y hormonas, incluidas la noradrenalina, la dopamina, la hormona liberadora de tirotrópina (la hormona estimuladora del tiroides) y la hormona antidiurética (arginina vasopresina). Algunas otras hormonas, como la oxitocina y la adrenalina, son secretadas por **células neuroendocrinas** (neuronas que liberan sus secreciones en la circulación sanguínea). Algunas otras hormonas y neurotransmisores producen efectos superpuestos en el mismo órgano. Por ejemplo, el glucagon y la noradrenalina estimulan al hígado para que desdoble glucógeno y libere glucosa en la sangre. Los sistemas nervioso y endocrino se regulan de manera continua entre sí, mientras coordi-



a) Sistema nervioso



b) Sistema endocrino

FIGURA 17.2 Comunicación mediante los sistemas nervioso y endocrino. a) Una neurona tiene una fibra larga que envía neurotransmisores a la vecindad inmediata de sus células blanco. b) Las células endocrinas secretan una hormona en la circulación sanguínea (izquierda). En un punto a menudo remoto de su origen, la hormona deja la circulación sanguínea y entra en las células blanco o se fija a ellas (derecha).

nan las actividades de otros sistemas de órganos. A menudo, las neuronas activan la secreción de hormonas, y las hormonas estimulan o inhiben a las neuronas.

Se ha visto que los neurotransmisores dependen de receptores en la célula que los recibe; no pueden ejercer ningún efecto a menos que ésta tenga el “equipo” necesario para fijarlos y responder a ellos. Esto también es cierto para las hormonas. Cuando una hormona entra en la circulación sanguínea, va a donde va la sangre; no hay una manera de enviarla a un órgano determinado. Sin embargo, sólo ciertos **órganos** o **células blanco** responden a ella. Por ejemplo, la tirotropina circula por cualquier lugar a donde vaya la sangre, pero sólo estimula a la glándula tiroidea. En la mayor parte de los casos, esto se debe sólo a que las células blanco tienen receptores para una hormona determinada. Sin embargo, estas respuestas selectivas también pueden ocurrir dado a que la hormona circulante es una forma inactiva y sólo las células blanco tienen la enzima necesaria para convertirla en la forma activa. Por ejemplo, la testosterona circulante es casi inactiva, pero sus células blanco tienen una enzima que la convierten en dihidrotestosterona, que es mucho más potente.

Nomenclatura hormonal

A muchas hormonas se les menciona por sus abreviaturas estándares en inglés, que se usan de manera repetida en este capítulo. Aparecen en el cuadro 17.2 para que se les use como una referencia conveniente a lo largo del capítulo. Esta lista no está completa. Omite hormonas que no tienen abreviatura, como el estrógeno y la insulina, además de otras a las que no se les dedica mucho espacio aquí. Los sinónimos empleados por muchos autores se indican entre paréntesis, pero el primer nombre es el que se usa en este libro.

Antes de proseguir

Responda las siguientes preguntas para probar su comprensión de la sección anterior:

1. Defina la palabra *hormona* y distinga una hormona de un neurotransmisor. ¿Por qué ésta representa una distinción imperfecta?
2. Mencione algunas fuentes de hormonas diferentes de las glándulas que sólo son endocrinas.

CUADRO 17.2 Nombres y abreviaturas de las hormonas

Abreviatura	Nombre	Origen
ACTH	Corticotropina (hormona adrenocorticotrópica)	Adenohipófisis
ADH	Vasopresina (hormona antidiurética)	Neurohipófisis
ANP	Péptido natriurético auricular	Corazón
CRH	Corticoliberina	Hipotálamo
DHEA	Dehidroepiandrosterona	Corteza suprarrenal
EPO	Eritropoyetina	Riñón, hígado
FSH	Folotropina (hormona estimuladora del folículo)	Adenohipófisis
GH	Somatotropina (hormona del crecimiento)	Adenohipófisis
GHRH	Somatoliberina	Hipotálamo
GnRH	Gonadoliberina	Hipotálamo
IGF	Somatomedinas (factor de crecimiento insulinoide)	Hígado, otros tejidos
LH	Lutropina	Adenohipófisis
NE	Noradrenalina	Médula suprarrenal
OT	Oxitocina	Neurohipófisis
PIH	Dopamina (hormona inhibidora de la prolactina)	Hipotálamo
PRL	Prolactina	Adenohipófisis
PTH	Paratirina (hormona paratiroidea)	Paratiroides
T ₃	Triyodotironina	Tiroides
T ₄	Tetrayodotironina	Tiroides
TH	Hormonas tiroideas (T ₃ y T ₄)	Tiroides
TRH	Tiroliberina	Hipotálamo
TSH	Tirotropina (hormona estimulante de la tiroides)	Adenohipófisis

3. Describa algunas distinciones entre glándulas endocrinas y exocrinas.
4. Elabore una lista de algunas similitudes y diferencias entre los sistemas endocrino y nervioso.

17.2 Hipotálamo e hipófisis

Resultados esperados del aprendizaje

Cuando haya completado esta sección, el estudiante podrá:

- a) Describir las relaciones anatómicas entre el hipotálamo y la hipófisis.
- b) Distinguir entre los lóbulos anterior y posterior de la hipófisis.
- c) Elaborar una lista de las hormonas producidas por el hipotálamo y cada lóbulo de la hipófisis, e identificar las funciones de cada hormona.
- d) Explicar cómo la hipófisis es controlada por el hipotálamo y sus órganos blanco.
- e) Describir los efectos de la somatotropina.

No hay un centro de control maestro que regule todo el sistema endocrino, pero la hipófisis y el hipotálamo tienen una influencia más amplia que cualquier otra parte del sistema, y no es posible comprender de manera adecuada otras glándulas endocrinas sin conocer primero cómo influye la hipófisis sobre ellas. Éste es, por tanto, el momento apropiado para empezar a revisar el sistema endocrino.

Anatomía

El hipotálamo, que tiene forma de embudo aplanado, forma el piso y las paredes del tercer ventrículo del encéfalo; su estructura y su función se estudiaron en el capítulo 14 (véanse las figuras 14.2, p. 515, y 14.12b, p. 529). Regula funciones primitivas del cuerpo que van del equilibrio hídrico y la termorregulación al impulso sexual y el parto. En muchas de sus funciones interviene la hipófisis, muy relacionada con el hipotálamo en los sentidos anatómico y fisiológico.

La hipófisis⁴ está suspendida del piso del hipotálamo por un tallo (*infundíbulo*⁵) y se alberga en una depresión del esfeno-

noides, la silla turca. La hipófisis suele medir 1.3 cm y tiene el tamaño y la forma de una alubia; crece casi 50% más durante el embarazo. En realidad, está compuesta por dos estructuras (la *adenohipófisis*, o lóbulo anterior de la hipófisis, y la *neurohipófisis*, o lóbulo posterior) con orígenes independientes y funciones separadas. La adenohipófisis surge de la *bolsa hipofisaria* que crece hacia arriba desde la faringe embrionaria, mientras que la neurohipófisis representa un crecimiento hacia abajo del encéfalo, el *botón neurohipofisario* (figura 17.3). Se encuentran juntas y están tan unidas que se ven como una sola glándula.

La *adenohipófisis*⁶ constituye las tres cuartas partes anteriores de la hipófisis (figuras 17.4a y 17.5a). Tiene dos partes: un **lóbulo anterior** grande, también llamado *parte distal*, porque es más distal al tallo hipofisario, y una menos importante,

⁴ hypo = debajo de; physis = zona de crecimiento.

⁵ in = en; funde = verter; bulu = instrumento.

⁶ adeno = glándula.

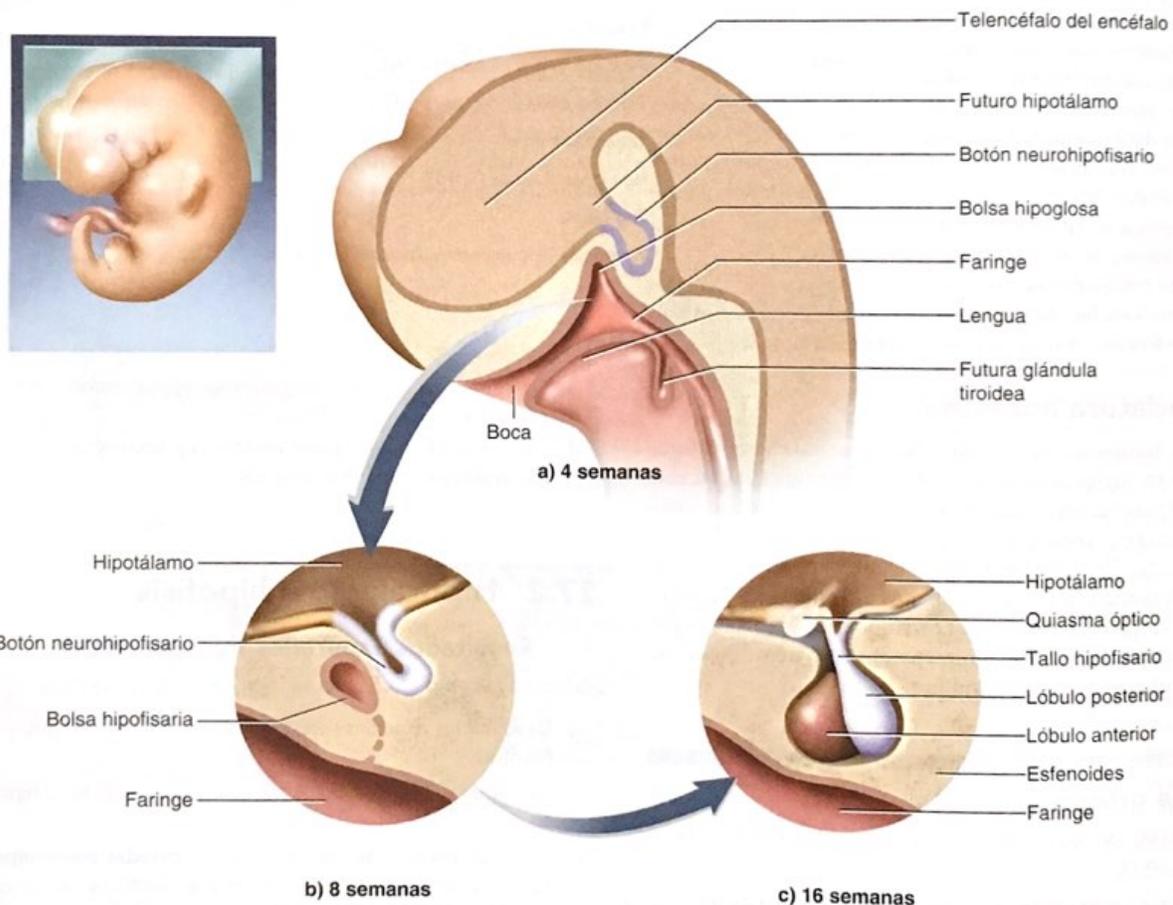


FIGURA 17.3 Desarrollo embrionario de la hipófisis. a) Corte sagital de la cabeza que muestra los orígenes neural y faringeo de la hipófisis. b) Desarrollo hipofisario a las ocho semanas. Se ha segregado de la faringe a la bolsa hipofisaria, destinada a convertirse en la adenohipófisis. c) Desarrollo a las 16 semanas. Los dos lóbulos se encuentran cubiertos por hueso y están tan relacionados que parecen una sola glándula.

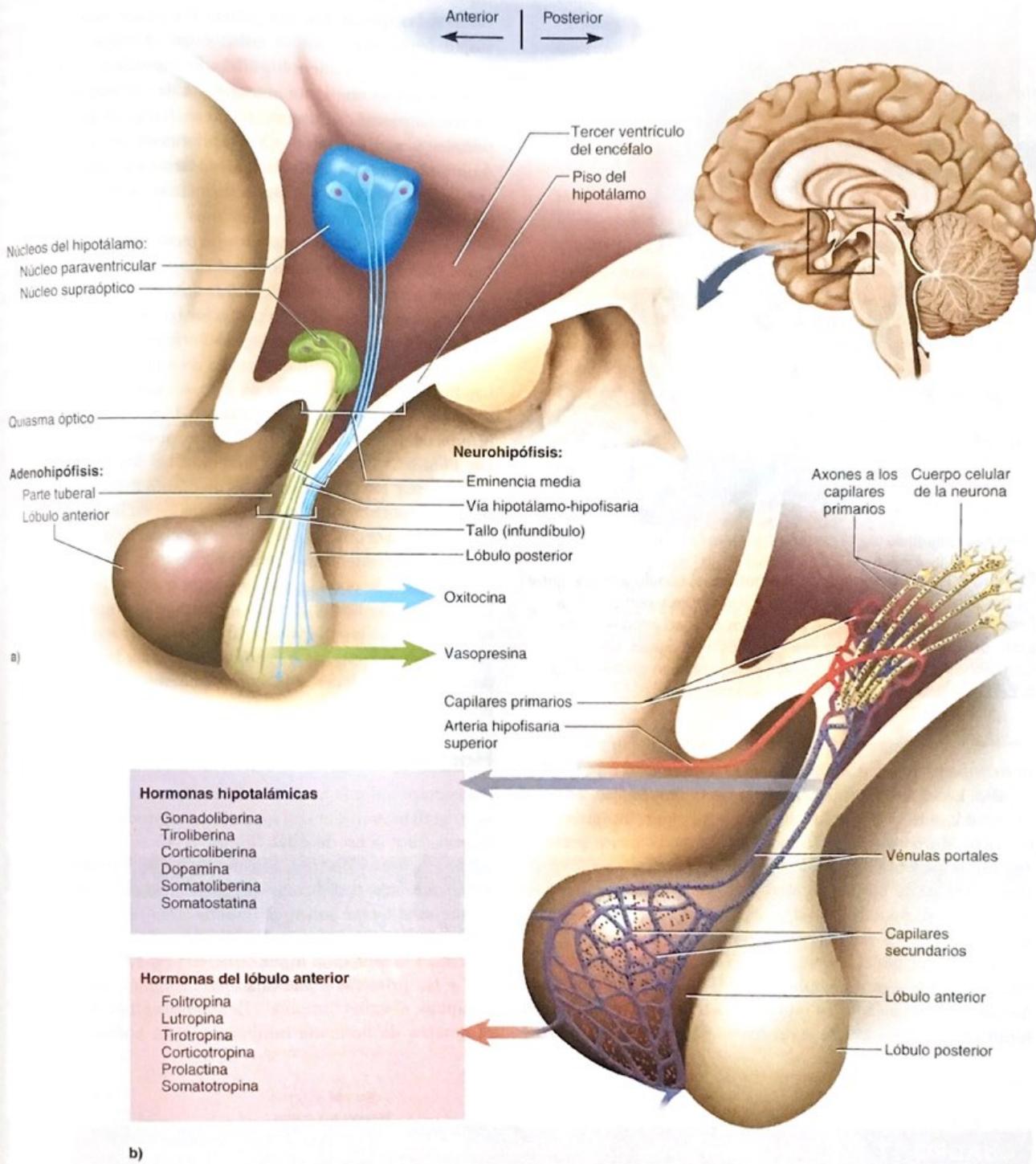


FIGURA 17.4 Anatomía de la hipófisis. a) Principales estructuras de la hipófisis y hormonas de la neurohipófisis. Observe que son dos núcleos en el hipotálamo los que producen estas hormonas y que se les libera más adelante desde el lóbulo posterior de la hipófisis. b) El sistema portal hipofisario, que regula el lóbulo anterior de la hipófisis. El hipotálamo secreta las hormonas que se incluyen en el recuadro de color violeta, y viajan en el sistema portal hasta la adenohipófisis. Ésta secreta las hormonas que se encuentran en el recuadro de color rosa, bajo el control de los liberadores e inhibidores hipotalámicos. **APIR**

• ¿Que lóbulo de la hipófisis está, en esencia, integrado por tejido cerebral?

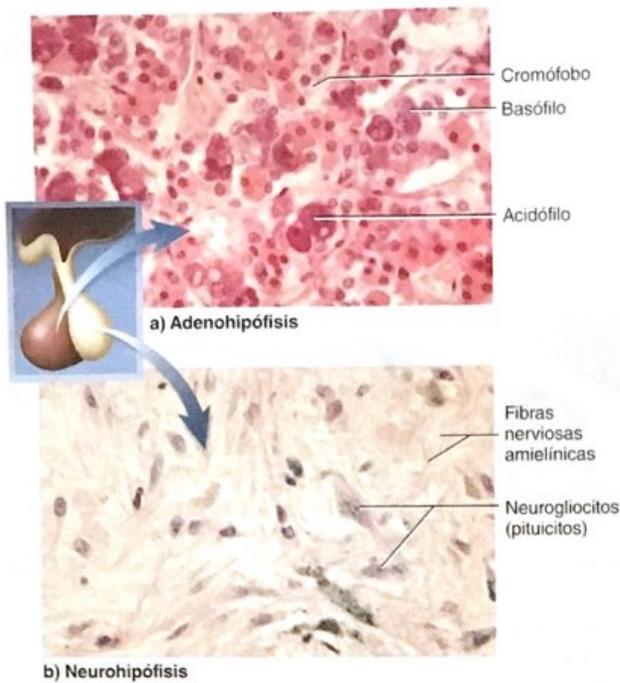


FIGURA 17.5 Histología de la hipófisis. a) Lóbulo anterior. Entre los basófilos se incluyen gonadotropos, tirotrópos y corticotropos. Entre los acidófilos se incluyen somatotropos y lactotropos. Estos subtipos no son distinguibles con tinciones histológicas. Los cromóforos resisten la tinción, y aún se desconocen sus funciones. b) Lóbulo posterior, compuesto por tejido nervioso.

parte tuberal, que es una masa pequeña de células que recubre el tallo. En el feto también hay una *parte intermedia*, una tira de tejido entre el lóbulo anterior y la neurohipófisis. Sin embargo, durante el desarrollo subsecuente, la mayor parte de sus células se entremezcla con las del lóbulo anterior. Todo lo que queda de la parte intermedia después del nacimiento es una zona rudimentaria estrecha con bolsillos epiteliales parecidos a quistes, de función poco conocida.

La adenohipófisis no tiene conexión nerviosa con el hipotálamo, sino que está vinculada con él mediante un complejo de vasos sanguíneos a los que se le denomina **sistema portal hipofisario** (figura 17.4b). Este sistema consta de una red de

capilares primarios en el hipotálamo, un grupo de pequeñas venas a las que se les denomina *vénulas portales*, las cuales viajan hacia abajo por el tallo, y un complejo de *capilares secundarios* en la adenohipófisis. El hipotálamo controla a la adenohipófisis mediante la secreción de hormonas que entran en los capilares primarios, recorren hacia abajo las vénulas portales y se difunden por los capilares secundarios en el tejido hipofisario. Las hormonas hipotalámicas regulan las secreciones mediante varios tipos de células hipofisarias que se estudian más adelante.

La **neurohipófisis** constituye la cuarta parte posterior de la hipófisis. Tiene tres partes: la *eminencia mediana*, una extensión del piso del encéfalo; el *infundíbulo* ya mencionado, y la parte más grande, el **lóbulo posterior (parte nerviosa)**. La neurohipófisis es, en realidad, tejido nervioso (fibras nerviosas y neuroglia, figura 17.5b); no se trata de una verdadera glándula. Las fibras nerviosas surgen de ciertos cuerpos celulares en el hipotálamo, bajan al tallo como un haz, la **vía hipotalamo-hipofisaria**, y terminan en el lóbulo posterior (figura 17.4a). Las neuronas hipotalámicas elaboran las hormonas, que descienden por las fibras nerviosas mediante flujo axoplásmico a la neurohipófisis. Aquí son almacenadas en las terminaciones nerviosas hasta que una señal nerviosa que baja de los mismos axones desencadena su liberación.

A partir de aquí se pueden ignorar todas las partes de la hipófisis, excepto los lóbulos anterior y posterior, los cuales secretan todas las hormonas hipofisarias que revisten algún interés. Las referencias a la adenohipófisis y la neurohipófisis deben comprenderse sólo como una referencia a estos dos lóbulos.

Hormonas hipotalámicas

Para comprender la fisiología del sistema hipotalámico-hipofisario se debe empezar con las hormonas producidas en el hipotálamo. Hay ocho de ellas (figura 17.4): seis para regular la adenohipófisis y dos que se almacenan en la neurohipófisis y se liberan bajo pedido. Las primeras seis se describen como *hormonas liberadoras* si estimulan a las células hipofisarias para secretar hormonas propias, u *hormonas inhibidoras* si suprimen la secreción hipofisaria (cuadro 17.3). Para denominar a las primeras suele añadirse el sufijo "liberina"; a las segundas, el sufijo "tropina". La *somatostatina* también recibe el nombre de hormona inhibidora de la hormona del creci-

CUADRO 17.3

Liberación e inhibición hipotalámica de hormonas que regulan a la adenohipófisis

Hormona	Efectos principales
Tiroliberina (TRH)	Promueve la secreción de tirotrótopina (TSH) y prolactina (PRL)
Corticoliberina (CRH)	Promueve la secreción de corticotropina (ACTH)
Gonadoliberina (GnRH)	Promueve la secreción de folitropina (FSH) y lutropina (LH)
Somatoliberina (GHRH)	Promueve la secreción de somatotropina (GH)
Dopamina (PIH)	Inhibe la secreción de prolactina (PRL)
Somatostatina	Inhibe la secreción de somatotropina (GH) y tirotrótopina (TSH)

miento, aunque también inhibe a la secreción de tirotropina. Su nombre deriva de la *somatotropina*, sinónimo de hormona del crecimiento, y *stat* que significa detener algo (en este caso, la secreción de somatotropina).

Las otras dos hormonas hipotalámicas son la **oxitocina** y la **vasopresina** (hormona antidiurética). Se almacenan en la neurohipófisis y se liberan de allí. La oxitocina proviene sobre todo de neuronas en los **núcleos paraventriculares**⁷ derecho e izquierdo del hipotálamo, que reciben ese nombre porque caen en las paredes del tercer ventrículo. La vasopresina proviene sobre todo de los **núcleos supraópticos**,⁸ reciben ese nombre por su ubicación justo arriba del quiasma óptico. Cada núcleo también produce pequeñas cantidades de otras hormonas. Es más conveniente tratar a la vasopresina y la oxitocina como hormonas de la neurohipófisis, aunque no se sintetizan en el lóbulo posterior.

Hormonas de la adenohipófisis

El lóbulo anterior de la hipófisis sintetiza y secreta seis hormonas principales, que se describen enseguida (en el cuadro 17.4 se presenta un resumen de ellas). Las primeras dos reciben el nombre colectivo de **gonadotropinas**,⁹ porque su objetivo son los ovarios y los testículos (gónadas).

1. **Folitropina (FSH) u hormona estimulante del folículo.** La secretan las células hipofisarias llamadas *gonadotropos*. En los ovarios, estimulan la secreción de hormonas sexuales ováricas y el desarrollo de los *foliculos* parecidos a bur-

bujas que contienen el óvulo. En los testículos, estimula la producción de espermatozoides.

2. **Lutropina (LH).** La secretan los gonadotropos. En las mujeres estimula la *ovulación*, que es la liberación de un óvulo. Recibe su nombre porque después de la ovulación el folículo se vuelve un cuerpo amarillento al que se le denomina *cuerpo lúteo*.¹⁰ La lutropina también estimula al cuerpo lúteo para que secrete progesterona, una hormona importante en el embarazo. En los hombres estimula los testículos para que secreten testosterona.
3. **Tirotropina (TSH) u hormona estimulante de la tiroides.** La secretan los *tirotropos*, un tipo de células hipofisarias. Estimula el crecimiento de la glándula tiroidea y la secreción de hormona tiroidea, que tiene efectos extendidos en el metabolismo, la temperatura corporal y otras funciones detalladas más adelante.
4. **Corticotropina (ACTH) u hormona adrenocorticotrópica.** La secretan los *corticotropos*. Su órgano blanco y la base para su nombre es la corteza suprarrenal (antes llamada adrenal), se estudiará más adelante, en este capítulo. La corticotropina estimula la corteza para que secrete hormonas llamadas glucocorticoides (sobre todo *cortisol*), encargadas de regular el metabolismo de la glucosa, las proteínas y la grasa, y son importantes en la respuesta del cuerpo a la tensión.
5. **Pro lactina¹¹ (PRL).** La secretan los *lactotropos* (*mamotropos*), células de la hipófisis. La hormona y estas células reciben su nombre por la función de la prolactina en la lactancia. Durante el embarazo, aumenta en gran medida

⁷ *para* = a lo largo de; *ventricular* = perteneciente al ventrículo.

⁸ *supra* = sobre.

⁹ *gonad* = órganos sexuales; *troph* = que nutre; *ina* = sustancia.

¹⁰ *lute* = amarillo.

¹¹ *pro* = a favor de; *lact* = leche; *ina* = sustancia.

CUADRO 17.4 Hormonas hipofisarias

Hormona	Órgano o tejido blanco	Efectos principales
Adenohipófisis		
Folitropina (FSH)	Ovarios, testículos	Mujeres: crecimiento de los folículos ováricos y secreción de estrógeno Hombres: producción de espermatozoides
Lutropina (LH)	Ovarios, testículos	Mujeres: ovulación, mantenimiento del cuerpo lúteo Hombres: secreción de testosterona
Tirotropina (TSH)	Glándula tiroidea	Crecimiento de la tiroides, secreción de hormona tiroidea
Corticotropina (ACTH)	Corteza suprarrenal	Crecimiento de la corteza suprarrenal, secreción de glucocorticoides
Pro lactina (PRL)	Glándulas mamarias, testículos	Mujeres: síntesis de leche Hombres: mayor sensibilidad a la lutropina
Somatotropina (GH)	Hígado, hueso, cartilago, músculo, grasa	Crecimiento extendido del tejido, sobre todo en los tejidos establecidos
Neurohipófisis		
Vasopresina (ADH)	Riñones	Retención de agua
Oxitocina (OT)	Útero, glándulas mamarias	Contracciones del parto, liberación de leche; tal vez interviene en la eyaculación, el transporte de espermatozoides, el afecto sexual y el lazo madre-hijo

el tamaño y la cantidad de los lactotropos, y la secreción de prolactina se eleva de manera proporcional, pero no tiene efecto en las glándulas mamarias hasta después del parto, entonces las estimulan para sintetizar leche. En los hombres, la prolactina hace que los testículos sean más sensibles a la lutropina, pero no queda claro si esto tiene importancia fisiológica.

6. **Somatotropina (GH) u hormona del crecimiento.** La secretan los somatotropos, las células más abundantes de la adenohipófisis. La hipófisis produce por lo menos mil veces más somatotropina que otras hormonas. El efecto general es que estimula la mitosis y la diferenciación celular y, por tanto, promueve el crecimiento de tejido en todo el cuerpo.

La adenohipófisis interviene en una cadena de acontecimientos relacionados con las hormonas: el hipotálamo secreta una hormona liberadora o inhibidora; esto induce a un tipo de célula hipofisiaria a secretar su hormona; esa hormona tiene como destino otra glándula endocrina en cualquier otro lugar del cuerpo; por último, esa glándula secreta una hormona con un efecto propio. Por ejemplo, el hipotálamo secreta tiroliberina; ésta induce a la adenohipófisis a secretar tirotrópina; y ésta, a su vez, estimula a la glándula tiroidea para que libere hormona tiroidea; por último, ésta ejerce sus efectos metabólicos en todo el cuerpo. Esta relación entre el hipotálamo, la hipófisis y otras glándulas endocrinas al final de este flujo recibe el nombre de **eje** (p. ej., el *eje hipotálamo-hipofisiario-tiroideo*). En la figura 17.6 se presenta un resumen de estas relaciones entre el hipotálamo, la adenohipófisis y otros órganos blanco en el flujo de las hormonas.

La parte intermedia

La parte intermedia está casi ausente en la hipófisis de un humano adulto, pero se encuentra presente en otros animales y en el feto humano. En otras especies secreta *melanotropina* (MSH) u hormona estimulante de los melanocitos, que tiene

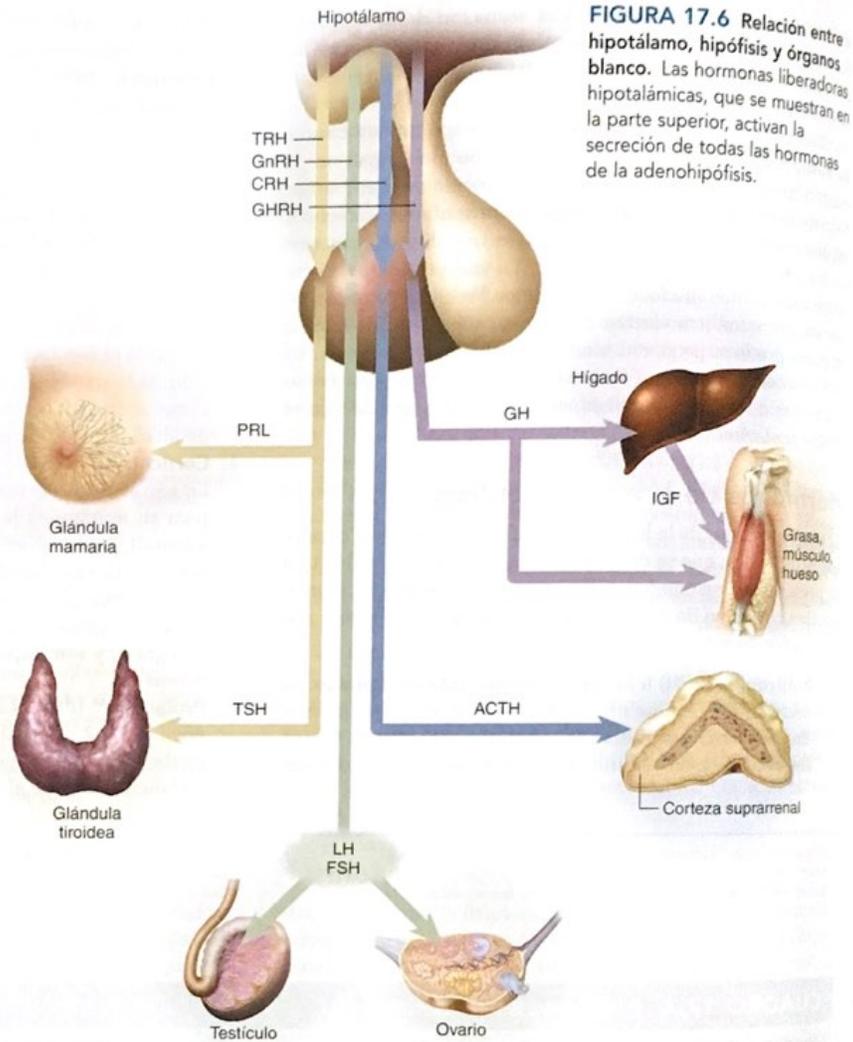


FIGURA 17.6 Relación entre hipotálamo, hipófisis y órganos blanco. Las hormonas liberadoras hipotalámicas, que se muestran en la parte superior, activan la secreción de todas las hormonas de la adenohipófisis.

influencia en la pigmentación de la piel, el pelo o las plumas. Alguna vez se pensó que tenía un efecto similar en la piel humana, pero la evidencia indica que los humanos no tienen melanotropina circulante. Algunas células del lóbulo anterior derivadas de la parte intermedia fetal producen un polipéptido, la *proopiomelanocortina* (POMC), que no es secretado pero que se procesa dentro de la hipófisis para producción de fragmentos como la corticotropina y las endorfinas que inhiben el dolor.

Hormonas de la neurohipófisis

Las dos hormonas del lóbulo posterior de la hipófisis (neurohipófisis) son la vasopresina y la oxitocina (cuadro 17.4), se les sintetiza en el hipotálamo. Luego se les transporta a la neurohipófisis y se les almacena hasta que se les libera bajo pedido. Sus funciones son las siguientes:

1. **Vasopresina (ADH).** Aumenta la retención de agua en los riñones, reduce el volumen de orina y ayuda a evitar la deshidratación. La vasopresina también funciona como un

neurotransmisor encefálico y se le llama arginina vasopresina (AVP) en la literatura neurocientífica, que alude a su capacidad para causar vasoconstricción, pero este efecto requiere concentraciones tan elevadas que resultan antinaturales para el cuerpo humano que tiene una importancia dudosa, con excepción de sus estados patológicos.

2. **Oxitocina (OT).** Tiene diversas funciones reproductoras en situaciones que van del acto sexual a la alimentación al pecho materno. Surge en ambos sexos durante la excitación sexual y el orgasmo. Tal vez ayuda a la propulsión del semen a través del aparato reproductor masculino y la estimulación de las contracciones uterinas que ayudan a transportar el esperma por el aparato genital femenino. La oxitocina también funciona en las sensaciones de satisfacción sexual y de vinculación emocional entre compañeros. En el parto estimula las contracciones y en las madres que amamantan estimula el flujo de leche de los ácinos profundos en la glándula mamaria al pezón, donde queda accesible para el lactante. También puede promover el lazo emocional entre la madre y el niño. En ausencia de oxitocina, las hembras de otros mamíferos tienden a negar ayuda a sus hijos.

Control de la secreción hipofisaria

Las hormonas hipofisarias no son secretadas a una velocidad constante. Por ejemplo, la somatotropina se secreta sobre todo en la noche, la lutropina alcanza su máximo en medio del ciclo menstrual, y la oxitocina surge durante el parto y la lactancia. La oportunidad y la cantidad de secreción hipofisaria se regulan mediante la acción del hipotálamo y otros centros encefálicos, además de retroalimentación de los órganos blanco.

Control hipotalámico y cerebral

Ambos lóbulos hipofisarios están sujetos en gran medida al control del encéfalo. El control hipotalámico permite que el encéfalo vigile las condiciones dentro y fuera del cuerpo y estimule o inhiba la liberación apropiada de hormonas del lóbulo anterior. Por ejemplo, en momentos de tensión, el hipotálamo activa la secreción de corticotropina, que lleva a la secreción de cortisol y la movilización de los materiales necesarios para la reparación de tejidos. Durante el embarazo, el hipotálamo induce la secreción de prolactina, de modo que una mujer está preparada para la lactancia después del nacimiento del bebé.

La neurohipófisis se controla mediante **reflejos neuroendocrinos**: la liberación de hormonas como respuesta a señales del sistema nervioso. Por ejemplo, la deshidratación eleva la osmolaridad de la sangre, detectada por neuronas hipotalámicas llamadas **osmorreceptores**. Activan la liberación de vasopresina, que, a su vez, promueve la conservación del agua. En contraste, la presión arterial excesiva estimula a los receptores de estrechamiento en el corazón y ciertas arterias. Mediante otro reflejo neuroendocrino se inhibe la liberación de vasopresina, aumenta la diuresis y el volumen sanguíneo y la presión arterial se normaliza.

El amamantamiento de un lactante también activa un reflejo neuroendocrino mediado por la oxitocina. La estimulación del pezón envía señales nerviosas por la médula espinal y el tallo encefálico al hipotálamo y de allí a la neurohipófisis. Esto causa la liberación de oxitocina, que estimula la liberación de leche. Los reflejos neuroendocrinos también pueden incluir los centros elevados del encéfalo. Por ejemplo, este reflejo de lactancia puede activarse cuando la madre escucha a un bebé llorar (cualquier bebé) y la tensión emocional puede afectar la secreción de gonadotropina, lo que altera la ovulación, el ritmo menstrual y la fertilidad.

Aplicación de lo aprendido

¿Cuál de los temas de unificación del final del capítulo 1 (p. 22) se ejemplifica mejor mediante los reflejos neuroendocrinos que rigen la secreción de vasopresina?

Retroalimentación de los órganos blanco

La regulación de otras glándulas endocrinas por parte de la hipófisis no es sólo un sistema de “órdenes de arriba hacia abajo”. Estos órganos blanco también regulan la hipófisis y el hipotálamo mediante varios círculos de retroalimentación.

Con más frecuencia, esto toma la forma de **inhibición de la retroalimentación negativa**: la hipófisis estimula a otra glándula endocrina para que secrete su hormona, y esa hormona retroalimenta a la hipófisis y el hipotálamo e inhibe la secreción adicional de la hormona hipofisaria. En la figura 17.7 se muestra esto en el eje hipotálamo-hipófisis-tiroides. Los números de la figura corresponden a los de la siguiente descripción:

- 1 El hipotálamo secreta tiroliberina.
- 2 La tiroliberina estimula a la adenohipófisis para que secrete tirotropina.
- 3 La tirotropina estimula a la glándula tiroidea para que secrete hormona tiroidea.
- 4 La hormona tiroidea estimula el metabolismo de la mayor parte de las células del cuerpo.
- 5 La hormona tiroidea también *inhibe* la liberación de tirotropina por parte de la hipófisis.
- 6 En menor medida, la hormona tiroidea también *inhibe* la liberación de tiroliberina por parte del hipotálamo.

La inhibición de la retroalimentación negativa en este proceso consta de los pasos 5 y 6. Asegura que cuando el nivel de hormona tiroidea se eleva, la secreción de tirotropina se mantiene en un nivel moderado. Si la secreción de hormona tiroidea se reduce, la secreción de tirotropina se eleva y estimula a la glándula tiroidea para que secrete más hormona. Esta retroalimentación mantiene las concentraciones de hormona tiroidea oscilando alrededor de un punto estable a la manera homeostática típica.

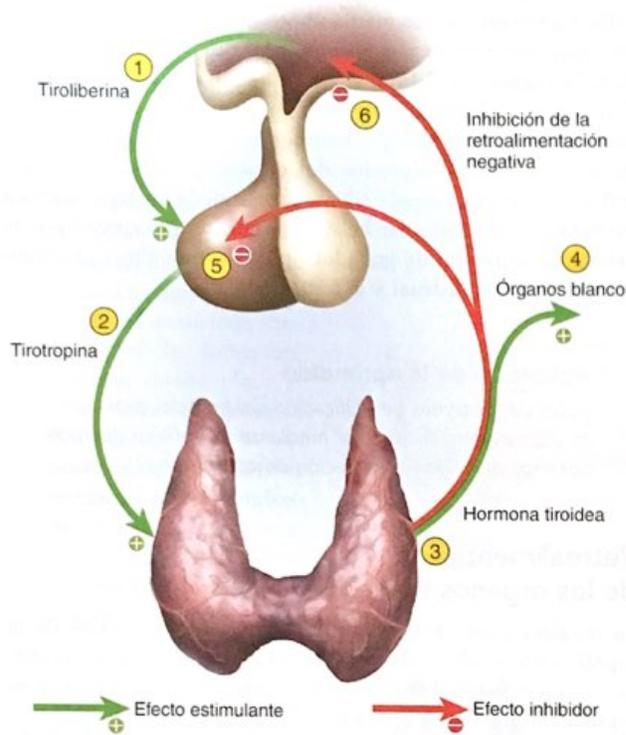


FIGURA 17.7 Inhibición de retroalimentación negativa de la glándula hipófisis por parte de la glándula tiroidea. Consulte el texto para conocer la explicación de los pasos numerados.

Aplicación de lo aprendido

Si se extirpa la glándula tiroidea a un paciente con cáncer, ¿la concentración de tiropterina disminuye o sube? ¿Por qué?

La retroalimentación de un órgano blanco no siempre es inhibitoria. Como se vio en el capítulo 1, la oxitocina activa un ciclo de retroalimentación positiva durante el parto (véase la figura 1.12, p. 19). El estrechamiento uterino envía una señal nerviosa al encéfalo que estimula la liberación de oxitocina, y empuja al niño hacia abajo. Esto estrecha el extremo inferior del útero un poco más, lo que lleva a una señal nerviosa que estimula aún más la liberación de oxitocina. Este ciclo de retroalimentación positiva continúa hasta que el niño nace.

Revisión adicional de la somatotropina

Los efectos finales de la mayor parte de las hormonas hipofisarias se ejercen en glándulas endocrinas apartadas, como la glándula tiroidea, la corteza suprarrenal y las gónadas. Esos efectos se analizan en la siguiente sección, cuando se estudian esas glándulas. La somatotropina es un caso diferente y merece un examen adicional en este punto.

A diferencia de otras hormonas hipofisarias, la somatotropina no está destinada sólo a uno o algunos órganos, sino que tiene efectos extendidos en el cuerpo, sobre todo en cartilago, hueso, músculo y grasa. Ejerce sus efectos de manera directa o

indirecta. La propia somatotropina estimula de manera directa a estos tejidos, pero también induce al hígado y otros tejidos a producir estimulantes del crecimiento, llamados **factor de crecimiento insulínico (IGF tipo I y IGF tipo II)**, o **somatomedinas**,¹² que estimulan entonces a las células blanco en diversos tejidos (figura 17.6). El IGF tipo I causa la mayor parte de estos efectos, pero el IGF tipo II es importante en el crecimiento fetal.

Un efecto del IGF es la prolongación de la acción de la somatotropina. Todas las hormonas tienen una **vida media**, que es el tiempo requerido para que 50% de las hormonas sean retiradas de la sangre. La somatotropina resulta poco longeva; su vida media es de sólo 6 a 20 min. Los IGF, en contraste, tienen vida media de casi 20 horas. Los mecanismos de la acción de GH-IGF son los siguientes:

- **Síntesis de proteínas.** El crecimiento de tejidos requiere la síntesis de proteínas, y ésta necesita a su vez dos cosas: aminoácidos para la construcción de materiales y RNA mensajero (mRNA) con el fin de obtener las instrucciones para su elaboración. Pocos minutos después de su secreción, la somatotropina estimula la traducción del mRNA existente, y algunas horas después estimula también la transcripción de DNA y, por tanto, la producción de más mRNA. La somatotropina también mejora el transporte de aminoácidos en las células; y para asegurar que la síntesis de proteínas sobrepase su desdoblamiento suprime el catabolismo de proteínas.
- **Metabolismo de lípidos.** Con el fin de proporcionar energía para el crecimiento de los tejidos, la somatotropina estimula a los adipocitos para que catabolicen grasa y liberen ácidos grasos y glicerol en la sangre. Al proporcionar estos combustibles, la somatotropina hace innecesario que las células consuman sus proteínas. A esto se le denomina **efecto de ahorro de proteínas**.
- **Metabolismo de los carbohidratos.** La somatotropina también tiene un **efecto de ahorro de carbohidratos**. Su función en la movilización de ácidos grasos reduce la dependencia de la glucosa en la mayor parte de las células, de modo que no compiten con el encéfalo, que depende en gran medida de la glucosa. La somatotropina también estimula la síntesis de glucosa en el hígado.
- **Equilibrio hidroelectrolítico.** La somatotropina promueve la retención de Na^+ , K^+ y Cl^- en los riñones, mejora la absorción de Ca^{2+} en el intestino delgado y hace que estos electrolitos estén disponibles para los tejidos en crecimiento.

Los efectos más notorios de la somatotropina se ven en el crecimiento de hueso, cartilago y músculo, sobre todo en la infancia y adolescencia. El IGF tipo I acelera el crecimiento óseo en las placas epifisarias. Estimula la multiplicación de condrocitos y las células osteogénicas, además del depósito de proteínas en el cartilago y la matriz ósea. En los adultos estimula la actividad de los osteoblastos y el crecimiento aposicional del hueso; por tanto, sigue influyendo en el engrosamiento y remodelado del hueso.

La secreción de somatotropina fluctúa en gran medida en un día. Alcanza los 20 ng/ml de plasma sanguíneo o más duran-

¹² Acrónimo de *somatotropin mediating protein* (proteína mediada por somatotropina).

te las primeras 2 horas del sueño profundo, y puede alcanzar los 30 ng/ml como respuesta al ejercicio vigoroso. La secreción de somatotropina crece de manera abrupta como respuesta a traumatismo, tensión física o emocional, hipoglucemia (baja concentración de azúcar en la sangre) y aun otras condiciones. Se presentan pequeños picos después de comidas ricas en proteínas, pero una comida alta en carbohidratos tiende a suprimir la secreción de somatotropina.

El valor de la somatotropina tiende a declinar poco a poco con la edad. Promedia casi 6 ng/ml en la adolescencia y una cuarta parte de eso en la edad muy avanzada. La declinación resultante en la síntesis de proteínas puede contribuir al envejecimiento de los tejidos, incluidas las arrugas de la piel y la reducción en masa muscular y fuerza. A la edad de 30 años, el cuerpo adulto promedio es 10% hueso, 30% músculo y 20% grasa; a los 75 años de edad, 8% hueso, 15% músculo y 40% grasa.

Antes de proseguir

Responda las siguientes preguntas para probar la comprensión de la sección anterior:

5. Mencione dos buenas razones para considerar que la hipófisis son dos glándulas separadas.
6. Compare el control hipotalámico de la adenohipófisis con el de la neurohipófisis.
7. Mencione tres hormonas del lóbulo anterior que tengan funciones reproductoras y tres que no la tengan. ¿Cuáles órganos blanco son estimulados por cada una de estas hormonas?
8. ¿En qué sentido la hipófisis "recibe órdenes" de los órganos blanco bajo su control?
9. ¿De qué manera el hígado promueve la función de la somatotropina? ¿De qué manera la somatotropina afecta el metabolismo de proteínas, grasas y carbohidratos?

17.3 Otras glándulas endocrinas

Resultados esperados del aprendizaje

Cuando haya completado esta sección, el estudiante podrá:

- a) Describir la estructura y ubicación de las glándulas endocrinas restantes.
- b) Mencionar las hormonas que producen estas glándulas endocrinas y establecer sus funciones.
- c) Analizar las hormonas producidas por órganos y tejidos diferentes de las glándulas endocrinas.

Glándula pineal

La **glándula pineal**¹³ está adjunta al techo del tercer ventrículo del encéfalo, debajo del extremo posterior del cuerpo calloso

(véanse las figuras 17.1 y 17.4a). Su nombre alude a una forma parecida a la del cono de un pino. El filósofo René Descartes (1596 a 1650) pensaba que era el asiento del alma humana. De ser así, los niños deben tener más alma que los adultos: la glándula pineal de un niño es de casi 8 mm de largo y 5 mm de ancho, pero después de los siete años de edad se revierte con rapidez y no es más que una masa un poco encogida de tejido fibroso en el adulto. A ese encogimiento se le llama **involución**.¹⁴ La secreción pineal tiene un punto máximo después de uno a cinco años de edad, y declina 75% para el final de la pubertad.

Ya no se busca el alma humana en la glándula pineal, pero este pequeño órgano sigue siendo un misterio. Es posible que tenga una función en el establecimiento de los *ritmos circadianos* de 24 h de la función fisiológica sincronizada con el ciclo de luz diurna y oscuridad. En la noche sintetiza **melatonina**, una monoamina, a partir de serotonina. Se ha visto que la melatonina se relaciona con algunos trastornos del estado de ánimo en los humanos, aunque la evidencia no es concluyente (consúltese el recuadro Conocimiento más a fondo 17.1). Su secreción fluctúa con los cambios a lo largo del día, y en animales que se aparean de acuerdo con las estaciones, regula las gónadas y el ciclo anual de apareamiento. La melatonina puede suprimir la secreción de gonadotropina; la eliminación de la glándula pineal en animales causa maduración sexual prematura. Algunos fisiólogos consideran que la glándula pineal regula la aparición de la pubertad en humanos, pero aún no se tiene una clara demostración al respecto. Los tumores pineales causan un inicio prematuro de la pubertad en niños, pero esos tumores también dañan al hipotálamo, de tal manera que no se puede estar seguro de que su efecto sea específico del daño pineal.

Timo

El **timo** tiene una función en tres sistemas: endocrino, linfático e inmunitario. Es una glándula bilobulada en el mediastino superior del corazón, debajo del manubrio esternal. En el feto y el lactante es enorme en comparación con los órganos adyacentes, y en ocasiones se extiende entre los pulmones desde cerca del diafragma hasta la base del cuello (figura 17.8a). Sigue creciendo hasta los 5 o 6 años de edad. En adultos, la glándula pesa casi 20 g hasta los 60 años de edad, pero se vuelve cada vez más grasa y menos glandular con la edad. En las personas de edad avanzada es un pequeño remanente fibroso y graso apenas distinguible de los tejidos mediastinales circundantes (figura 17.8b).

El timo es un sitio de maduración para ciertos leucocitos, los linfocitos T, muy importantes para la defensa inmunitaria. Secreta varias hormonas (**timopoyetina**, **timosina** y **timulina**) que estimulan el desarrollo de otros organismos linfáticos y regulan el desarrollo y la actividad de los linfocitos T. Su histología y función inmunitaria se analizan más a fondo en el capítulo 21.

¹³ *pineal* = cono o piña de un pino.

¹⁴ *in* = dentro; *volu* = dar vuelta; *tion* = acción.

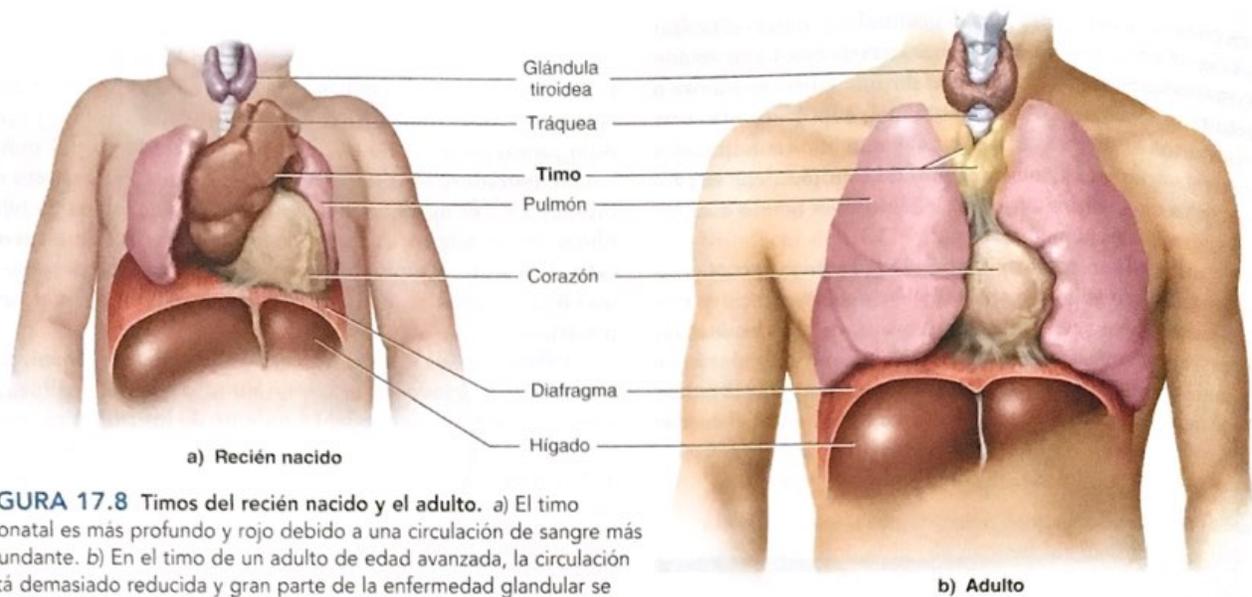


FIGURA 17.8 Timos del recién nacido y el adulto. a) El timo neonatal es más profundo y rojo debido a una circulación de sangre más abundante. b) En el timo de un adulto de edad avanzada, la circulación está demasiado reducida y gran parte de la enfermedad glandular se reemplaza con grasa y tejido fibroso. **APR**

CONOCIMIENTO MÁS A FONDO 17.1

Aplicación clínica

Melatonina, SAD y PMS

Al parecer, existe relación entre la melatonina y los trastornos del estado de ánimo como la depresión y los trastornos del sueño. Algunas personas experimentan una disfunción del estado de ánimo al que se le denomina *trastorno afectivo estacional* (SAD), sobre todo en invierno, cuando los días son más cortos y se tiene menos exposición a la luz del sol, y en latitudes extremas, al norte y al sur, donde la luz del sol puede ser tenue o inexistente durante varios meses continuos. Por tanto, el SAD afecta a casi 20% de la población en Alaska, pero sólo a 2.5% en Florida. Los síntomas (depresión, somnolencia, irritabilidad y deseo de carbohidratos, entre otros) pueden aliviarse 2 o 3 horas después de la exposición a la luz brillante cada día (*fototerapia*). El síndrome premenstrual (PMS) es similar al SAD y también se alivia mediante fototerapia. El nivel de melatonina está elevado en el SAD y el PMS y se reduce mediante fototerapia. Sin embargo, también hay evidencia que arroja dudas sobre cualquier vínculo casual entre la melatonina y estos trastornos del ánimo, de modo que aún falta "dictar un veredicto". Muchas personas toman melatonina para el denominado *jet lag* (cambio de los hábitos de sueño debido a viajes a zonas horarias distintas), y es muy efectiva, pero su uso resulta peligroso cuando se sabe tan poco, aun acerca de sus posibles efectos en la función reproductora.

Glándula tiroidea

La **glándula tiroidea** es la glándula endocrina más grande en los adultos, y pesa casi 25 g. Se encuentra adyacente a la tráquea, debajo de la laringe, y su nombre se debe al cartílago tiroideos,¹⁵ que se encuentra en la laringe y tiene forma de escudo. Parece una mariposa que cubre la tráquea, con sus dos

lóbulos, parecidos a alas, unidos en sentido inferior por un puente estrecho de tejido, el **istmo** (figuras 17.8 y 17.9a). La glándula tiroidea recibe uno de los suministros de sangre más elevados del cuerpo por gramo de tejido y, por tanto, tiene un color café rojizo oscuro (figura 17.9a).

En el aspecto histológico, la glándula tiroidea está compuesta por sacos llamados **folículos tiroideos** (figura 17.9b). Cada uno está relleno con un coloide que contiene abundantes proteínas y está cubierto por epitelio cúbico simple de **células foliculares**. Estas células secretan la hormona **tiroxina**, también conocida como **T₄** o **tetrayodotironina**, debido a sus cuatro átomos de yodo. También produce **triyodotironina** (T₃), con tres átomos de yodo. La **hormona tiroidea** (TH) alude a T₃ y T₄. La glándula tiroidea promedio del adulto secreta casi 80 µg de TH al día. Casi 98% de ésta es T₄, pero tiene poco efecto sobre las células blanco; después de absorberla, las células la convierten en T₃, la forma más activa (consúltese la p. 661).

La secreción de hormona tiroidea se presenta como respuesta a la tirotrópina de la hipófisis. El efecto primario de la TH consiste en aumentar el metabolismo del cuerpo. Como resultado, eleva el consumo de oxígeno y el **efecto calorigénico**¹⁶ (aumento en la producción de calor). La secreción de TH se incrementa en clima frío y, por tanto, ayuda a compensar la mayor pérdida de calor. Para asegurar un suministro adecuado de sangre y oxígeno, con el fin de cumplir esta mayor demanda metabólica, la TH eleva el ritmo respiratorio y cardíaco, y la fuerza de los latidos. Estimula el apetito y acelera el desdoblamiento de carbohidratos, grasas y proteínas, para convertirlas en combustible. La TH también promueve el estado de alerta y una mayor rapidez en los reflejos; la secreción de somatotropina; el crecimiento de los huesos, la piel, el pelo, las uñas y los dientes, y el desarrollo del sistema nervioso fetal.

¹⁵ *thyr* = escudo; *oid* = parecido a.

¹⁶ *genic* = que produce.

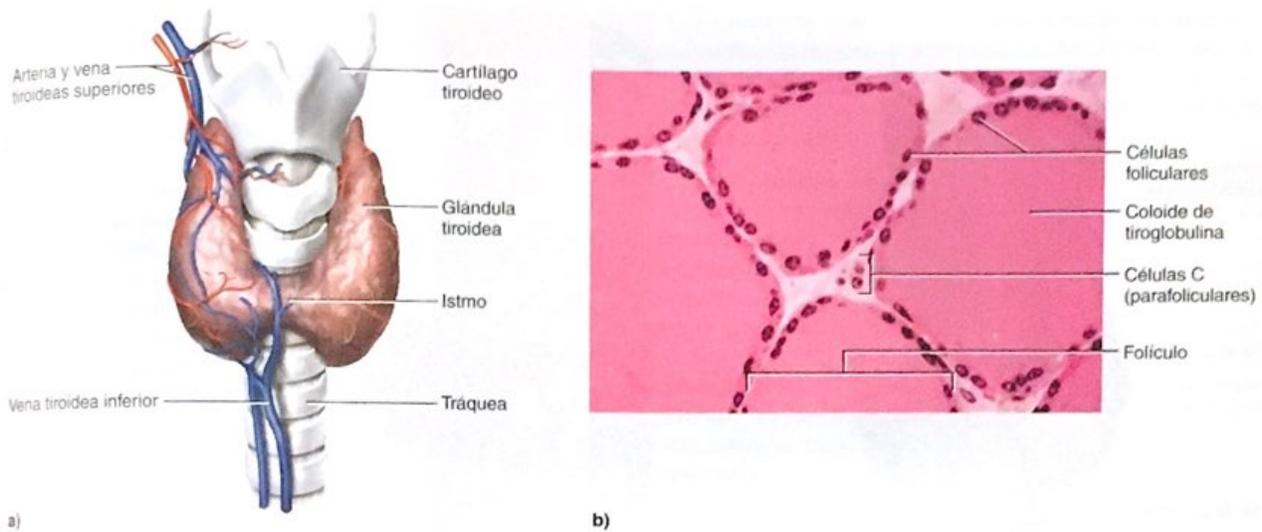


FIGURA 17.9 Anatomía de la glándula tiroidea. a) Anatomía macroscópica, vista anterior. b) Histología, que muestra los folículos saculares tiroideos (fuente de la hormona tiroidea) y un nido de células C (fuente de la calcitonina). **APR**

La glándula tiroidea también contiene nidos de **células C** (claras) o **células parafoliculares**, en la periferia de los folículos. Responden al elevar las concentraciones del calcio sanguíneo mediante la secreción de la hormona **calcitonina**. Ésta antagoniza con la hormona paratiroidea (que se analiza más adelante) y estimula la actividad de los osteoblastos, con lo que promueve el depósito de calcio y la formación ósea. Esto es importante sobre todo en niños, y tiene poco efecto en los adultos (consúltese la p. 223).

Glándulas paratiroideas

Las **glándulas paratiroideas** tienen forma ovoide y miden de 3 a 6 mm de largo y de 2 a 5 mm de ancho. Por lo general, hay cuatro de ellas, incrustadas de manera parcial en la superficie posterior de la glándula tiroidea; una cápsula fibrosa delgada las separa de los folículos tiroideos (figura 17.10). Sin embargo, a menudo se presentan en otras ubicaciones, desde el hioides, en la parte más superior, hasta el arco aórtico, en la parte más inferior, y casi 5% de las personas tienen más de cuatro glándulas paratiroideas. Secretan **paratirina** u **hormona paratiroidea** (PTH) como respuesta a la hipocalcemia. La paratirina eleva las concentraciones de calcio en la sangre mediante los mecanismos detallados en el capítulo 7 (p. 223).

Glándulas suprarrenales

Las **glándulas suprarrenales** se asientan como una gorra sobre el polo superior de cada riñón (figura 17.11). Como los riñones, son retroperitoneales, y se localizan fuera de la cavidad peritoneal, entre el peritoneo y la pared posterior del cuerpo. La glándula suprarrenal del adulto mide casi 5 cm, en sentido vertical, 3 cm de ancho y 1 cm de anterior a posterior. Pesa entre

8 y 10 g en el recién nacido, pero pierde la mitad de su peso a los dos años de edad, sobre todo debido a la involución de su capa externa, la corteza suprarrenal. Se mantiene entre 4 y 5 g en los adultos.

Al igual que la hipófisis, la glándula suprarrenal se forma por la fusión de dos glándulas fetales con diferentes orígenes y funciones. Su núcleo interno, la **médula suprarrenal**, es 10 a 20% de la glándula. Dependiendo de su flujo de sangre, su color va de gris a rojo oscuro. La rodea una **corteza suprarrenal**, mucho más gruesa, que constituye 80 a 90% de la glándula y tiene un color amarillento debido a su elevada concentración de colesterol y otros lípidos.

Médula suprarrenal

La **médula suprarrenal** tiene una naturaleza dual; actúa como una glándula endocrina y como un ganglio del sistema nervioso simpático (consúltese la p. 568). Las fibras nerviosas preganglionares penetran a través de la corteza para alcanzar las **células cromafines** en la médula. Estas células, que reciben ese nombre por su tendencia a teñirse de café con ciertas tinturas, son, en esencia, neuronas posganglionares simpáticas, pero carecen de dendritas o axones y liberan sus productos en la circulación sanguínea como cualquier otra glándula endocrina. Por tanto, se les considera células neuroendocrinas.

Tras la estimulación recibida de fibras nerviosas (por lo general en una situación de miedo, dolor o tensión) las células cromafines liberan una mezcla de catecolaminas, cuya función como neurotransmisores ya se estudió (véase la figura 12-21, p. 462); esta mezcla consta de casi tres cuartas partes de **adrenalina**, una cuarta parte de **noradrenalina** y cantidades mínimas de **dopamina**. Ahora, las catecolaminas actúan como hormonas. Aumentan el estado de alerta y preparan al cuerpo de

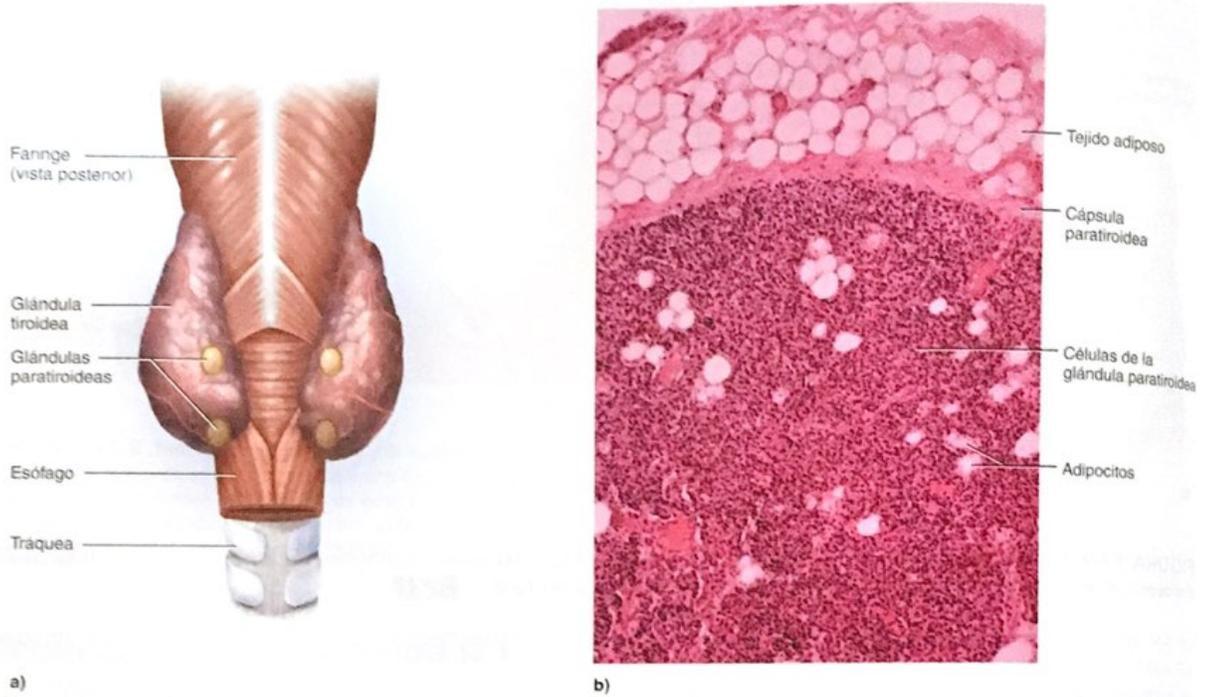


FIGURA 17.10 Glándulas paratiroides. a) Ubicación en la superficie posterior de la glándula tiroidea. b) Histología. **AP|R**

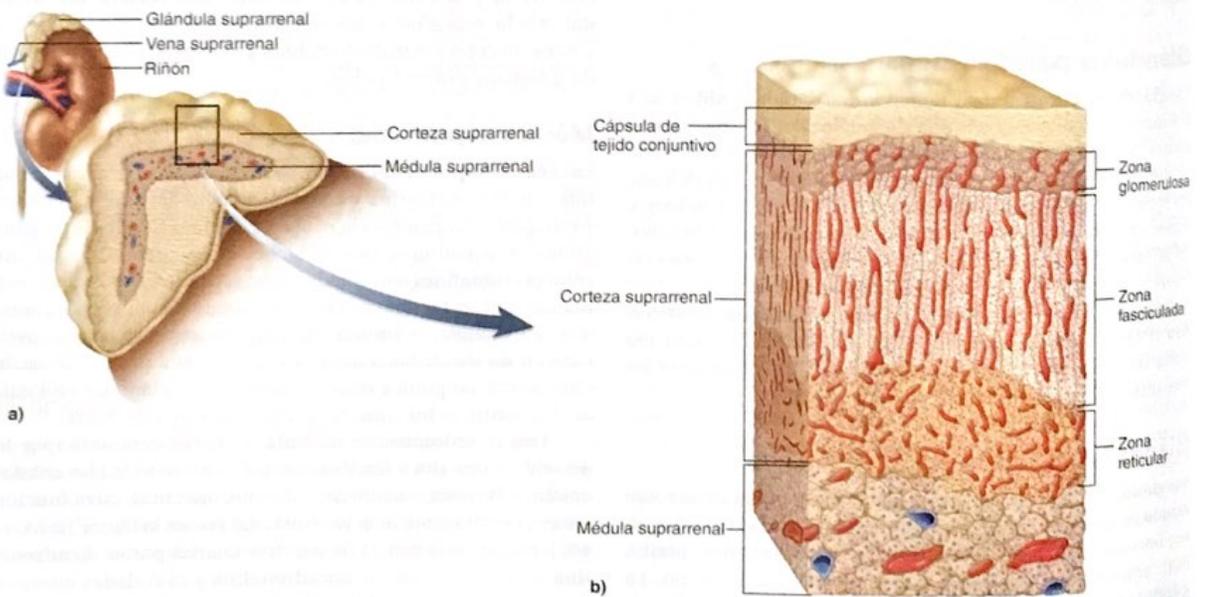


FIGURA 17.11 Glándula suprarenal. a) Ubicación y anatomía macroscópica. b) Histología. **AP|R**

varias maneras para la actividad física. Movilizan combustibles de alta energía como el lactato, los ácidos grasos y la glucosa. El hígado eleva las concentraciones de glucosa mediante **glucogenólisis** (hidrólisis de glucógeno a glucosa) y **gluconeogénesis** (conversión de grasas, aminoácidos y otros no carbohidratos en glucosa).

Se dice que la adrenalina tiene un **efecto de ahorro de glucosa**. Inhibe la secreción de insulina, de modo que los músculos y otros órganos que dependen de la insulina absorben y consumen menos glucosa. Dependen de combustibles alternos como los ácidos grasos, mientras la glucosa en la sangre se deja para que la use el encéfalo, que es más dependiente de ella.

Las catecolaminas suprarrenales también elevan el ritmo cardíaco y la presión arterial, estimulan la circulación a los músculos, aumentan el flujo de aire pulmonar y elevan el metabolismo. Al mismo tiempo, *inhiben* por un tiempo funciones no esenciales como la digestión y la diuresis, para que no compitan por el flujo de sangre y la energía.

Corteza suprarrenal

La **corteza suprarrenal** rodea a la médula por todos lados. Produce más de 25 hormonas esteroideas, conocidas de manera colectiva como **corticosteroides** o **corticoides**. A todas ellas se les sintetiza a partir del colesterol; éste y otros lípidos imparten un color amarillo a la corteza. Sólo cinco corticosteroides se secretan en cantidades con importancia fisiológica; la médula espinal de los demás es insignificante o, en el caso de que sean más abundantes, se presentan en formas menos activas desde el aspecto químico. Los cinco corticosteroides más importantes caen en tres categorías: **mineralocorticoides**, que regulan el equilibrio hidroelectrolítico; los **glucocorticoides**, que regulan el metabolismo de la glucosa y otros combustibles orgánicos, y los **esteroides sexuales**, con varias funciones en el desarrollo y la reproducción.

La corteza suprarrenal tiene tres capas de tejido (figura 17.11b), que presentan diferencias en histología y producción de hormonas:

1. La **zona glomerulosa**¹⁷ es una capa delgada, menos desarrollada en los humanos que en otros mamíferos, se localiza justo debajo de la cápsula, en la superficie de la glándula. *Glomerulosa* (llena de glomérulos o pequeñas bolsas) alude a la disposición de sus células en pequeños grupos redondos. La zona glomerulosa es la fuente de los mineralocorticoides.
2. La **zona fasciculada**¹⁸ es una capa media y gruesa que constituye casi las tres cuartas partes de la corteza. Aquí las células se encuentran dispuestas en cordones paralelos (fascículos), separados por capilares sanguíneos, perpendiculares a la superficie glandular. A las células se les denomina **espongiocitos** debido a su apariencia "espumosa" impartida por una abundante cantidad de gotitas de lípidos citoplásmicos. La zona fasciculada secreta glucocorticoides y andrógenos.

3. La **zona reticular**¹⁹ es la capa más estrecha e interna, adyacente a la médula suprarrenal. En las células, forma una red ramificada, que es la que da nombre. Como la capa anterior, la zona reticular también secreta glucocorticoides y andrógenos.

La **aldosterona** es el mineralocorticoide más importante y sólo se le produce en la zona glomerulosa. Estimula al riñón para que retenga sodio en los líquidos corporales y excrete potasio en la orina. El agua se retiene con el sodio por ósmosis, de modo que la aldosterona ayuda a mantener el volumen sanguíneo y la presión arterial.

El **cortisol** (también conocido en el ámbito clínico como *hidrocortisona*) es el glucocorticoide más potente, pero las glándulas suprarrenales también secretan uno más débil, la *corticosterona*. La zona fasciculada y reticular secretan glucocorticoides como respuesta a la corticotropina de la hipófisis. Estimulan el catabolismo de grasas y proteínas, la gluconeogénesis y la liberación de ácidos grasos y glucosa en la sangre. Esto ayuda al cuerpo a adaptarse a la tensión y a reparar los tejidos dañados. Los glucocorticoides también tienen efecto antiinflamatorio; la hidrocortisona se usa de manera extendida en ungüentos que alivian el edema y otros signos de inflamación. Sin embargo, la secreción excesiva de glucocorticoides o su uso médico suprime el sistema inmunitario por razones que se ven más adelante, al analizar la fisiología de la tensión.

Los **andrógenos** son los principales esteroides sexuales suprarrenales, pero las glándulas suprarrenales también producen pequeñas cantidades de estrógeno. Los esteroides sexuales, además, provienen de la zona fasciculada y reticular. El principal andrógeno es la **dehidroepiandrosterona** (DHEA). Tiene poca actividad biológica por sí sola, pero muchos tejidos la convierten en las formas más potentes: *testosterona* y *dihidrotestosterona*. Las glándulas suprarrenales de gran tamaño del feto masculino producen DHEA en cantidades significativas, que desempeñan una función importante en el desarrollo prenatal del aparato reproductor masculino. En ambos sexos, los andrógenos inducen el crecimiento del vello púbico y axilar, y las glándulas odoríferas apocrinas relacionadas, en la pubertad; además, estimulan la libido (deseo sexual) en toda la adolescencia y la vida adulta. En los hombres, la abundante cantidad de andrógeno secretada por los testículos minimiza la producida por las glándulas suprarrenales. Sin embargo, en las mujeres las glándulas suprarrenales satisfacen casi 50% de las necesidades de andrógenos.

El **estradiol** es el principal estrógeno suprarrenal. Suele tener menor importancia en mujeres en edad reproductiva, porque su cantidad es pequeña comparada con el estrógeno de los ovarios. Sin embargo, después de la menopausia, los ovarios ya no funcionan y sólo las glándulas suprarrenales secretan estrógeno. No obstante, varios otros tejidos, como la grasa, convierten los andrógenos en estrógeno adicional. Tanto los andrógenos como los estrógenos promueven el crecimiento del esqueleto en los adolescentes y ayudan a sostener la masa ósea de los adultos.

¹⁷ *glomerul* = pequeña pelota; *osa* = lleno de.
¹⁸ *fascicul* = pequeños cordones; *ada* = que posee.

¹⁹ *reticul* = pequeña red; *ar* = parecido a.

La médula y la corteza no tienen funciones tan independientes como alguna vez se pensó; cada una de ellas estimula a la otra. Sin la estimulación que proporciona el cortisol, la médula suprarrenal se atrofia de manera importante. Por el contrario, algunas células cromafines de origen medular se extienden a la corteza. Cuando la tensión activa al sistema nervioso simpático, estas células estimulan a la corteza para que secrete corticosterona y tal vez otros corticosteroides.

Aplicación de lo aprendido

La zona fasciculada se engrosa de manera importante durante el embarazo en mujeres. ¿Cuál es el beneficio de este fenómeno?

Islotes pancreáticos

El **páncreas** es una glándula elongada y esponjosa que se localiza debajo y detrás del estómago; la mayor parte de él es retroperitoneal (figura 17.12). Se trata, sobre todo, de una glándula digestiva exocrina, y su anatomía macroscópica se describe en el capítulo 25. Sin embargo, dispersos por todo el tejido exocrino se encuentran de 1 a 2 millones de grupos de células endo-

crinas a las que se les denomina **islotes pancreáticos (islotes de Langerhans)**.²⁰ Aunque representan menos de 2% del tejido pancreático, los islotes secretan hormonas de vital importancia en la regulación de la **glucemia**, la concentración de glucosa en la sangre. Un islote típico mide $75 \times 175 \mu\text{m}$ y contiene de unas cuantas a 3 000 células. Entre éstas, casi 20% corresponde a las células α , 70% a β y 5% a δ , además de un pequeño número de células PP y G; a continuación se describen sus funciones:

- Las **células alfa (α)**, o **células A**, secretan **glucagon** entre comidas cuando las concentraciones de glucosa en sangre caen por debajo de 100 mg/100 ml. En el hígado, el glucagon estimula la gluconeogénesis, glucogenólisis y la liberación de glucosa en la circulación, con lo que se eleva la concentración de glucosa en la sangre. En el tejido adiposo estimula el catabolismo de las grasas y la liberación de ácidos grasos libres. También secreta glucagon como respuesta al aumento en la concentración de aminoácidos en la sangre después de una comida con una elevada cantidad de proteínas. Promueve la absorción de aminoácidos y, por lo tanto, proporciona a las células materia prima para la gluconeogénesis.
- Las **células beta (β)**, o **células B**, secretan **insulina**, la “hormona de la abundancia de nutrientes”, durante la comida e inmediatamente después de ésta, cuando las concentraciones de nutrientes en la sangre están subiendo. Sus des-

²⁰ Paul Langerhans (1847 a 1888), anatomista alemán.

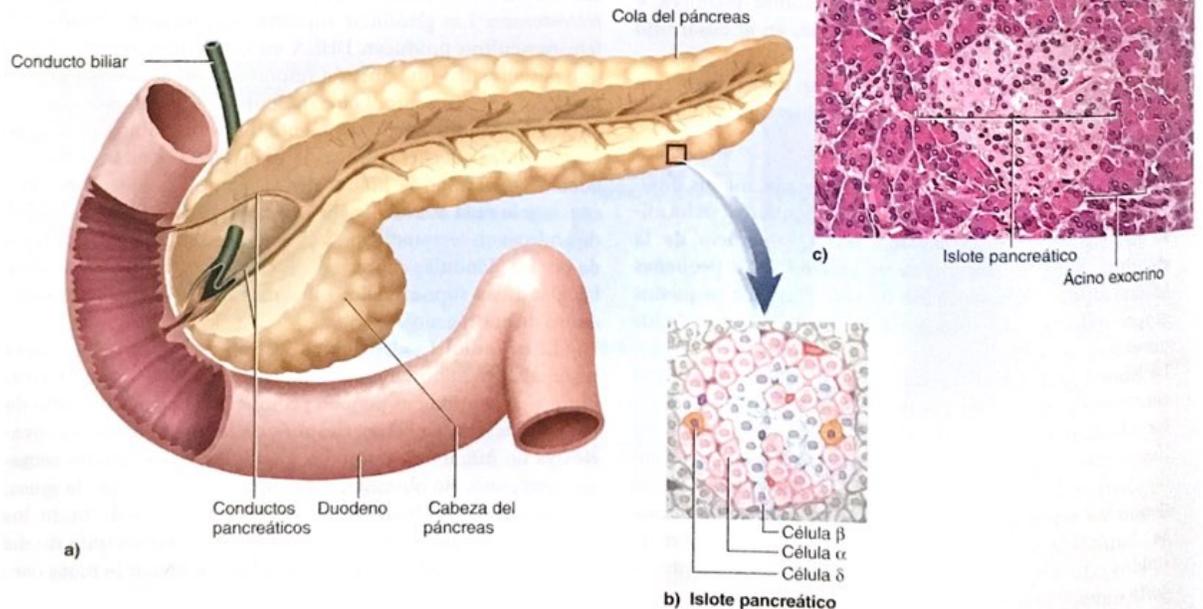


FIGURA 17.12 Páncreas. a) Anatomía macroscópica y relación con el duodeno. b) Células del islote pancreático (no se muestran las células PP ni G; hay pocas de ellas y no pueden distinguirse con una tinción histológica común). c) Micrografía de luz de un islote pancreático entre los ácinos exocrinos más oscuros, que producen enzimas digestivas. **APIR**

tinios principales son el hígado, los músculos estriados y el tejido adiposo. En momentos de plenitud, la insulina estimula a las células para que absorban glucosa, ácidos grasos y aminoácidos y que los almacenen o los metabolicen; por tanto, reduce la concentración de glucosa y otros nutrientes en la sangre. Promueve la síntesis de glucógeno, grasa y proteínas, con lo que promueve el almacenamiento del exceso de nutrientes para uso posterior y para mejorar el crecimiento y la diferenciación celulares. También antagoniza con el glucagon, con lo que suprime el uso de combustibles ya almacenados. El encéfalo, el hígado, los riñones y los eritrocitos absorben y usan glucosa, sin necesidad de insulina, pero ésta promueve la síntesis de glucógeno en el hígado. Se sabe bien que la insuficiencia de insulina o la inacción de ésta es la causa de la diabetes mellitus, que se detalla más adelante en este capítulo.

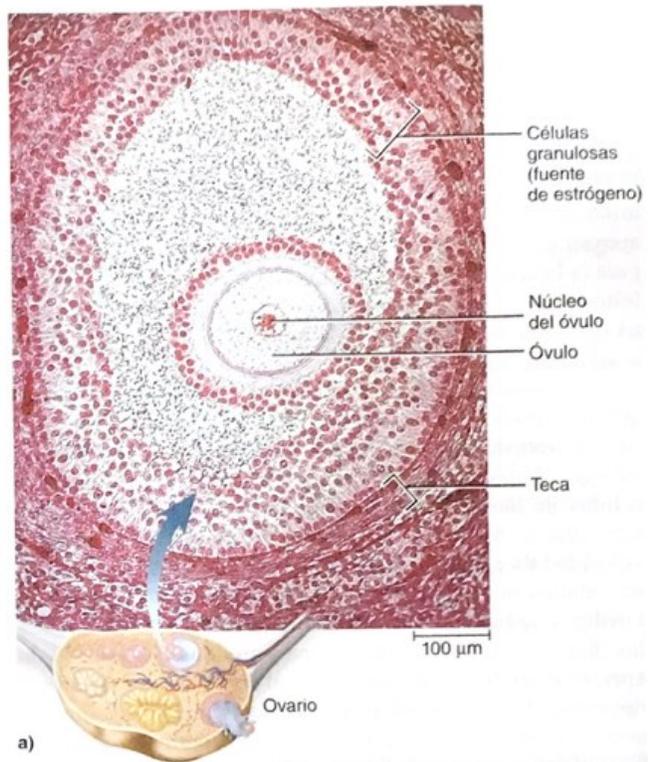
- Las **células delta (δ)**, o **células D**, secretan **somatostatina** (hormona inhibidora de la hormona del crecimiento) junto con la liberación de insulina por parte de las células β. La somatostatina inhibe la secreción de algunas enzimas digestivas y la absorción de nutrientes, y tal vez actúa de manera local sobre el páncreas, como secreción paracrina que modula la secreción de glucagon e insulina por parte de otras células de islote. Sin embargo, aún está por determinarse si el último efecto es significativo.
- Las **células PP**, o **células F**, secretan **polipéptido pancreático**. Esta hormona inhibe las contracciones de la vesícula biliar y los intestinos, además de la secreción de ácido estomacal y enzimas digestivas pancreáticas.
- Las **células G** secretan **gastrina**, al igual que el intestino delgado y el estómago. La gastrina estimula la secreción de ácido, la movilidad y el vaciado estomacal.

Cualquier hormona que eleva la concentración de glucosa en la sangre es una **hormona hiperglucémica**. Tal vez se haya notado que el glucagon no es la única hormona de este tipo; también lo son la somatotropina, la adrenalina, la noradrenalina, el cortisol y la corticosterona. A la insulina se le denomina **hormona hipoglucémica**, porque reduce la concentración de glucosa en la sangre.

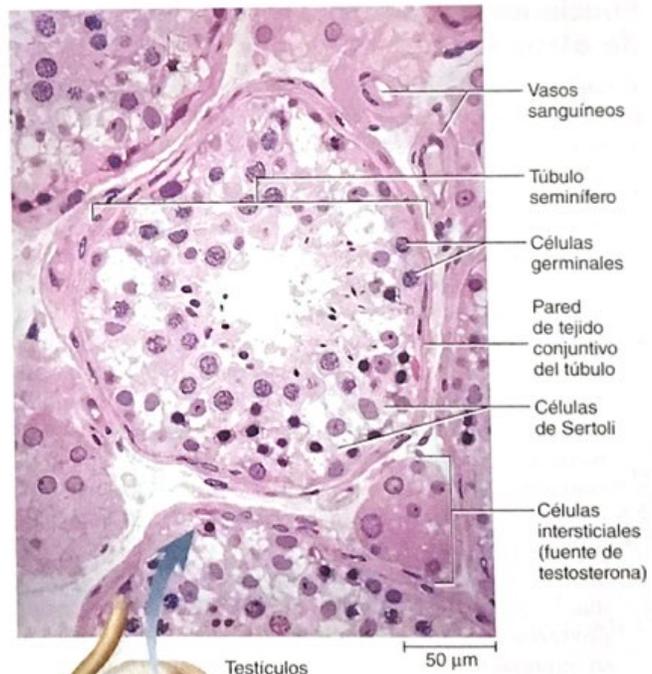
Gónadas

Como el páncreas, las **gónadas** (ovarios y testículos) son endocrinas y exocrinas a la vez. Sus productos exocrinos son células completas (óvulos y espermatozoides); por ello, en ocasiones se les denomina glándulas **citogénicas**.²¹ Sus productos endocrinos son las hormonas gonadales: en ellas, casi todas son esteroides. Su anatomía macroscópica se describe en los capítulos 27 y 28.

Los ovarios secretan sobre todo **estradiol**, **progesterona** e **inhibina**. Cada óvulo desarrolla su propio folículo, que está recubierto por una pared de **células granulosas** y rodeado por una cápsula, la **teca** (figura 17.13a). Estas células sintetizan la **androstenediona**, y la teca y las células granulosas se convierten en estradiol y cantidades menores de otros dos estrógenos: **estriol** y **estrona**. En la parte media del ciclo ovárico mensual,



a)



b)

FIGURA 17.13 Gónadas. a) Histología de un ovario; comparar con la fotografía por SEM de la página 633. b) Histología de los testículos. Las células granulosas del ovario y las células intersticiales de los testículos son endocrinas. **APR**

²¹ cito = célula; genic = producción.

un folículo maduro se rompe y libera al óvulo. Los restos del folículo se vuelven el cuerpo lúteo, que secreta progesterona para los siguientes 12 días, más o menos, en un ciclo típico (varias semanas en el caso de embarazo).

Las funciones del estradiol y la progesterona se detallan en el capítulo 28. En pocas palabras, contribuyen al desarrollo del aparato reproductor y físico femenino, promueven el crecimiento óseo en los adolescentes, regulan el ciclo menstrual, apoyan en el embarazo y preparan a las glándulas mamarias para la lactancia. La inhibina, que también es secretada por el folículo y el cuerpo lúteo, suprime la secreción de la folitropina mediante la inhibición de la retroalimentación negativa de la adenohipófisis.

Los testículos constan de *túbulos seminíferos* mínimos que producen espermatozoides. Sus secreciones endocrinas son la **testosterona**, cantidades pequeñas de andrógenos y estrógenos más débiles, e inhibina. La inhibina proviene de las **células de Sertoli**,²² que forman las paredes de los túbulos seminíferos. Al limitar la secreción de folitropina, regula la velocidad de producción de espermatozoides. Anidados entre los túbulos se encuentran grupos de **células intersticiales (de Leydig)**,²³ la fuente de la testosterona y otros esteroides sexuales (figura 17.13b). La testosterona estimula el desarrollo del aparato reproductor masculino en el feto y el adolescente, el desarrollo físico masculino en la adolescencia y el impulso sexual. Contribuye a la producción de espermatozoides y el instinto sexual durante la vida adulta.

Funciones endocrinas de otros tejidos y órganos

Varios tejidos y órganos adicionales, aparte de las clásicas glándulas endocrinas, secretan hormonas o precursores hormonales:

- **Piel.** Los queratinocitos de la epidermis convierten un esteroide similar al colesterol en **colecalfiferol**, empleando radiación UV del sol. El hígado y los riñones convierten el colecalfiferol en una hormona reguladora de calcio, el **calcitriol** (léanse los siguientes párrafos).
- **Hígado.** Participa en la producción de por lo menos cinco hormonas: 1) Convierte el colecalfiferol de la piel en **calcidiol**, el siguiente paso en la síntesis de calcitriol. 2) Secreta una proteína a la que se le denomina **angiotensinogenasa**, que los riñones, los pulmones y otros órganos la convierten en la hormona **angiotensina II**, un regulador de la presión arterial. (Véase la figura 23-15, p. 909, para conocer los detalles de su producción y sus acciones.) 3) Secreta casi 15% de la **eritropoyetina (EPO)** del cuerpo, una hormona que estimula la médula ósea roja para que produzca glóbulos rojos (eritrocitos). Por tanto, el hígado es importante para regular la capacidad portadora de oxígeno de la sangre. 4) Secreta **hepcidina**, una hormona descubierta en 2003 y a la que se le considera ahora como el principal mecanismo de la homeostasis del hierro. La hep-

cidina promueve la absorción intestinal del hierro dietético y la movilización de hierro para la síntesis de la hemoglobina y otros usos. 5) Secreta **factor de crecimiento insulínico (IGF tipo I)**, una hormona que media la acción de la somatotropina.

- **Riñones.** Tienen funciones endocrinas en la producción de tres hormonas: calcitriol, angiotensina II y eritropoyetina. 1) Convierten el calcidiol en **calcitriol (vitamina D₃)**, con lo que se completa el proceso en tres pasos que empezó en la piel y el hígado. El calcitriol eleva la concentración de calcio en la sangre, al promover su absorción intestinal e inhibir de manera ligera la pérdida de orina. Esto hace que haya más calcio disponible para el depósito óseo y otros usos. 2) Secretan la enzima **renina**, que convierte la angiotensinogenasa en angiotensina I. Mientras esta última circula por varios órganos, sobre todo los pulmones, la **enzima convertidora de angiotensina (ACE)** en la cubierta de los capilares sanguíneos la convierte en **angiotensina II**, un péptido pequeño. Se trata de una hormona muy potente que constriñe los vasos sanguíneos en todo el cuerpo y, por tanto, eleva la presión arterial. 3) Los riñones secretan casi 65% de la eritropoyetina del cuerpo.
- **Corazón.** La elevación de la presión arterial estira la pared cardíaca y estimula el músculo cardíaco en las aurículas para que secrete **péptido natriurético²⁴ auricular (ANP)**, y el músculo de los ventrículos para que secrete **péptido natriurético encefálico (BNP)**. El BNP recibió ese nombre porque se describió por primera vez en el encéfalo. Su efecto es similar al del ANP, pero el corazón produce casi cinco veces más ANP que BNP. Ambos incrementan la excreción de sodio y la diuresis y se oponen a la acción de la angiotensina II, descrita antes. Juntos, estos efectos reducen la presión arterial.
- **Estómago e intestino delgado.** El estómago y el intestino delgado tienen varias **células enteroendocrinas**,²⁵ las cuales secretan por lo menos 10 **hormonas entéricas**. Una función de estas hormonas consiste en coordinar diferentes regiones y glándulas del sistema digestivo entre sí. Por ejemplo, las células enteroendocrinas del intestino delgado secretan la **colecistocinina²⁶ (CCK)** como respuesta a la llegada de grasas. Entre otros efectos, estimula la vesícula biliar para que libere bilis. Las células enteroendocrinas del estómago secretan **gastrina²⁷** después de la comida y estimulan otras células del estómago para que secreten ácido hidrociorhídrico. Algunas hormonas entéricas actúan sobre el hipotálamo del encéfalo. La **grelina**,²⁸ secretada por el estómago cuando está vacío, produce la sensación de hambre. Las células enteroendocrinas del intestino delgado y grueso secretan el **péptido YY (PYY)** para señalar la saciedad, lo que tiende a terminar con el acto de comer. La CCK también tiene un efecto supresor del apetito en el encéfalo.

²⁴ natri = sodio; uretik = perteneciente a la orina.

²⁵ enter = intestino.

²⁶ chol = bilis; kyst = vesícula; kin = acción, movimiento.

²⁷ gastr = estómago; ina = sustancia.

²⁸ ghre = crecimiento.

²² Enrico Sertoli (1824 a 1910), histólogo italiano.

²³ Franz von Leydig (1821 a 1908), histólogo alemán.

- **Tejido adiposo.** Las células grasas secretan la hormona **leptina**, que tiene efectos a largo plazo sobre los centros de regulación del apetito situados en el hipotálamo. Una baja concentración de leptina, que significa un bajo nivel de grasa corporal, aumenta el apetito y la ingesta de comida, mientras que una concentración elevada tiende a reducirlo. La leptina también sirve como una señal para el inicio de la pubertad, que se demora en personas con grasa corporal demasiado baja. La leptina, además de algunas de las hormonas entéricas ya mencionadas, se analiza de manera más extensa en el capítulo 26.
- **Tejido óseo.** Los osteoblastos secretan la hormona **osteocalcina**, que aumenta el número de células β pancreáticas, la producción pancreática de insulina y la sensibilidad a la insulina de otros tejidos corporales. Al parecer, la osteocalcina también inhibe el aumento de peso (depósito de grasa) y el inicio de la diabetes mellitus tipo 2.
- **Placenta.** Este órgano realiza muchas funciones en el embarazo, como la nutrición y el retiro de desechos fetales. Pero también secreta estrógeno, progesterona y otras hormonas que regulan el embarazo y estimulan el desarrollo del feto y de las glándulas mamarias de la madre (consulte el capítulo 28).

Puede verse que el sistema endocrino es muy extenso. Incluye cuantiosas glándulas de diverso grado de importancia, además de células individuales en los tejidos de otros órganos. En el cuadro 17.5 se revisan los órganos endocrinos y otros tejidos diferentes del hipotálamo y la hipófisis.

Antes de proseguir

Responda las siguientes preguntas para probar la comprensión de la sección anterior:

10. Identifique tres glándulas endocrinas que son más grandes o más funcionales en lactantes o niños que en adultos. ¿Cuál es el término para el encogimiento de una glándula con la edad?
11. ¿Por qué la hormona tiroidea tiene un efecto calorígeno?
12. Mencione un glucocorticoide, un mineralocorticoide y una catecolamina secretados por la glándula suprarrenal.
13. ¿La acción de los glucocorticoides se parecen más a la del glucagon o la insulina? Explique.
14. Defina las hormonas hipoglucémicas e hiperglucémicas y mencione un ejemplo de cada una.
15. ¿Cuál es la diferencia entre una hormona gonadal y una gonadotropina?

CUADRO 17.5 Hormonas de orígenes diferentes del hipotálamo y la hipófisis

Fuente	Hormona	Órganos o tejidos blanco	Efectos principales
Glándula pineal	Melatonina	Encéfalo	Incierto; es posible que influya en el estado de ánimo y la maduración sexual
Timo	Timopoyetina, limosina, timulina	Células inmunitarias (linfocitos T)	Estimula el desarrollo y la actividad de los linfocitos T
Glándula tiroidea	Tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3)	La mayor parte de los tejidos	Eleva el metabolismo y el gasto cardíaco; aumenta el ritmo respiratorio y cardíaco, y la fuerza de los latidos; estimula el apetito y acelera el desdoblamiento de nutrientes, promueve el estado de alerta y acelera los reflejos, estimula la secreción de somatotropina, y el crecimiento de piel, pelo, uñas, dientes, así como el sistema nervioso fetal
Glándulas paratiroides	Calcitonina	Hueso	Estimula el depósito de hueso, sobre todo en niños
	Paratirina (PTH)	Hueso, riñones, intestino delgado	Eleva la concentración de Ca^{2+} en la sangre al estimular la resorción de hueso e inhibir la deposición, reduciendo la secreción urinaria de Ca^{2+} y mejorando la síntesis de calcitriol
Medula suprarrenal	Adrenalina, noradrenalina, dopamina	La mayor parte de los tejidos	Promueve el estado de alerta, moviliza combustibles orgánicos, eleva el metabolismo, estimula la circulación y la respiración, aumenta la concentración de glucosa en la sangre; inhibe la secreción de insulina y la recaptura de glucosa mediante órganos dependientes de la insulina (dejando disponible glucosa para el encéfalo)
Corteza suprarrenal	Aldosterona	Riñón	Promueve la retención de Na^+ y agua y la excreción de K^+ ; mantiene la presión arterial y el volumen sanguíneo
	Cortisol y corticosterona	La mayor parte de los tejidos	Estimula el catabolismo de grasa y proteínas, la gluconeogénesis, la resistencia a la tensión y la reparación de tejidos
	Dehidroepiandrosterona	Hueso, músculos, tegumento, encéfalo, muchos otros tejidos	Precursor de la testosterona, promueve por medios indirectos el crecimiento de huesos, vello púbico y axilar, glándulas apocrinas y el aparato reproductor masculino del feto, estimula la libido

(continúa)

CUADRO 17.5 Hormonas de orígenes diferentes del hipotálamo y la hipófisis (continuación)

Fuente	Hormona	Órganos o tejidos blanco	Efectos principales
Islotes pancreáticos	Glucagon	Sobre todo el hígado	Estimula la absorción de aminoácidos, gluconeogénesis, desdoblamiento del glucógeno y la grasa; eleva las concentraciones de glucosa y ácidos grasos en la sangre
	Insulina	La mayor parte de los tejidos	Estimula la recaptura de glucosa y aminoácidos; reduce la concentración de glucosa en la sangre, promueve la síntesis de glucógeno, grasa y proteína
	Somatostatina	Estómago, intestinos, células de islote pancreático	Modula la digestión, absorción de nutrientes, y secreción de glucagon e insulina
	Polipéptido pancreático Gastrina	Páncreas, vesícula biliar Estómago	Inhibe la liberación de bilis y enzimas digestivas Estimula la secreción ácida y la movilidad gástrica
Ovarios	Estradiol	Muchos tejidos	Estimula el desarrollo reproductor femenino y el crecimiento del adolescente; regula el ciclo menstrual y el embarazo; prepara las glándulas mamarias para la lactancia
	Progesterona	Útero, glándulas mamarias	Regula el ciclo menstrual y el embarazo; prepara las glándulas mamarias para la lactancia
Testículos	Inhibina	Adenohipófisis	Inhibe la secreción de folitropina
	Testosterona	Muchos tejidos	Estimula el desarrollo del aparato reproductor fetal y en el adolescente, crecimiento del aparato locomotor; producción de espermatozoides y la libido
Piel	Inhibina	Adenohipófisis	Inhibe la secreción de folitropina
Hígado	Colecalciferol	—	Precursor del calcitriol (véase Riñón)
	Calcidiol	—	Precursor del calcitriol (véase Riñón)
	Angiotensinogenasa	—	Precursor de angiotensina II (véase Riñón)
	Eritropoyetina	Médula ósea roja	Promueve la producción de eritrocitos, aumenta la capacidad de portación de oxígeno de la sangre
Riñones	Hepcidina	Intestino delgado, hígado	Promueve la absorción y la movilización de hierro
	Factor de crecimiento insulínico tipo I	Muchos tejidos	Prolonga y media la acción de la somatotropina
	Angiotensina I	—	Precursor de la angiotensina II, un vasoconstrictor
	Calcitriol	Intestino delgado	Aumenta la concentración de calcio en la sangre, sobre todo al promover la absorción intestinal de Ca^{2+}
Corazón	Eritropoyetina	Médula ósea roja	Promueve la producción de eritrocitos, aumenta la capacidad de portación de oxígeno de la sangre
	Péptido natriurético auricular y péptido natriurético encefálico	Riñón	Reduce el volumen sanguíneo y la presión arterial al promover la pérdida de Na^+ y de agua
	Estómago e intestino delgado	Colecistocinina	Vesícula biliar, encéfalo
Gastrina		Estómago	Estimula la secreción de ácido
Grelina		Encéfalo	Estimula el hambre, inicia la alimentación
Péptido YY Otras hormonas entéricas		Encéfalo Estómago, intestinos	Produce el sentido de saciedad; termina la alimentación Coordinación de la secreción y la movilidad en diferentes regiones del tubo digestivo
Tejido adiposo	Leptina	Encéfalo	Limita el apetito a largo plazo
Tejido óseo	Osteocalcina	Páncreas, tejido adiposo	Estimula las células β pancreáticas para que se multipliquen, aumenta la secreción de insulina, mejora la sensibilidad a la insulina de varios tejidos y reduce el depósito de grasa
Placenta	Estrógeno, progesterona	Muchos tejidos de la madre y el feto	Estimula el desarrollo fetal y las adaptaciones corporales maternas para el embarazo, prepara las glándulas mamarias para la lactancia