

Sistema endocrino

Unidad 3

EL SISTEMA ENDÓCRINO EN EL ORGANISMO HUMANO

El aumento de los niveles de complejidad de los seres vivos, producto de la evolución biológica, implica la existencia de eficaces sistemas de control, que regulan y coordinan las diferentes funciones metabólicas del organismo y sus respuestas a las variaciones del medio externo. En el ser humano, como en todos los mamíferos, los sistemas nervioso y endocrino son los principales responsables del control de las funciones vitales. El sistema endocrino está constituido por un conjunto de glándulas de secreción interna (sin conductos) que producen y secretan hormonas que liberan en la sangre, moléculas de señalización que regulan diversas funciones del organismo. El sistema nervioso, en cambio, regula y coordina las funciones corporales por medio de una red de neuronas interconectadas que transmiten la información de forma mucho más rápida que las hormonas que viajan en la sangre.

TIPOS DE GLÁNDULAS

Las glándulas son órganos efectores que se encargan de la producción de sustancias químicas específicas ante un estímulo determinado.

Glándulas de secreción interna

"Las glándulas endocrinas difieren de las glándulas de secreción externa por la ausencia de un conducto secretor. Estas glándulas vierten su producto de secreción, las hormonas, directamente en el medio interno, por intermedio de los vasos sanguíneos (...). Por esta razón, también se denominan *glándulas de secreción interna*".

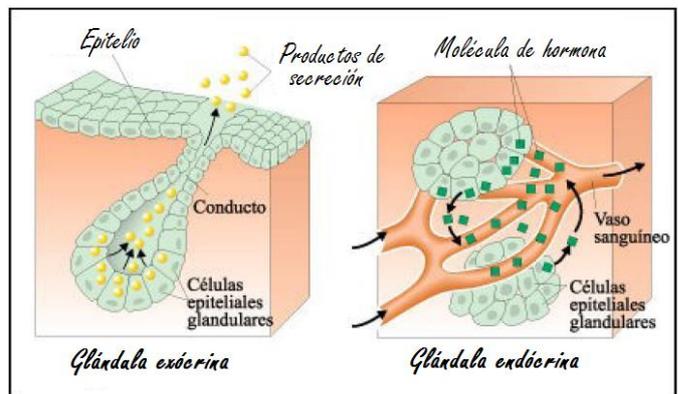
LATERJET, Michel y Alfredo RUIZ LIARD:
Anatomía humana. Buenos Aires:
Editorial Médica Panamericana,
2008, p. 1673.

- Las **glándulas exocrinas** o de secreción externa, como las glándulas lacrimales, elaboran secreciones que viajan por conductos hasta

llegar a la superficie corporal o a las cavidades (por lo tanto, al exterior del cuerpo).

- Las **glándulas endocrinas** o de secreción interna, como la glándula tiroides, no realizan el transporte mediante conductos sino que vuelcan la secreción al torrente sanguíneo (interior del cuerpo) que la transporta hasta las células de los órganos blanco.

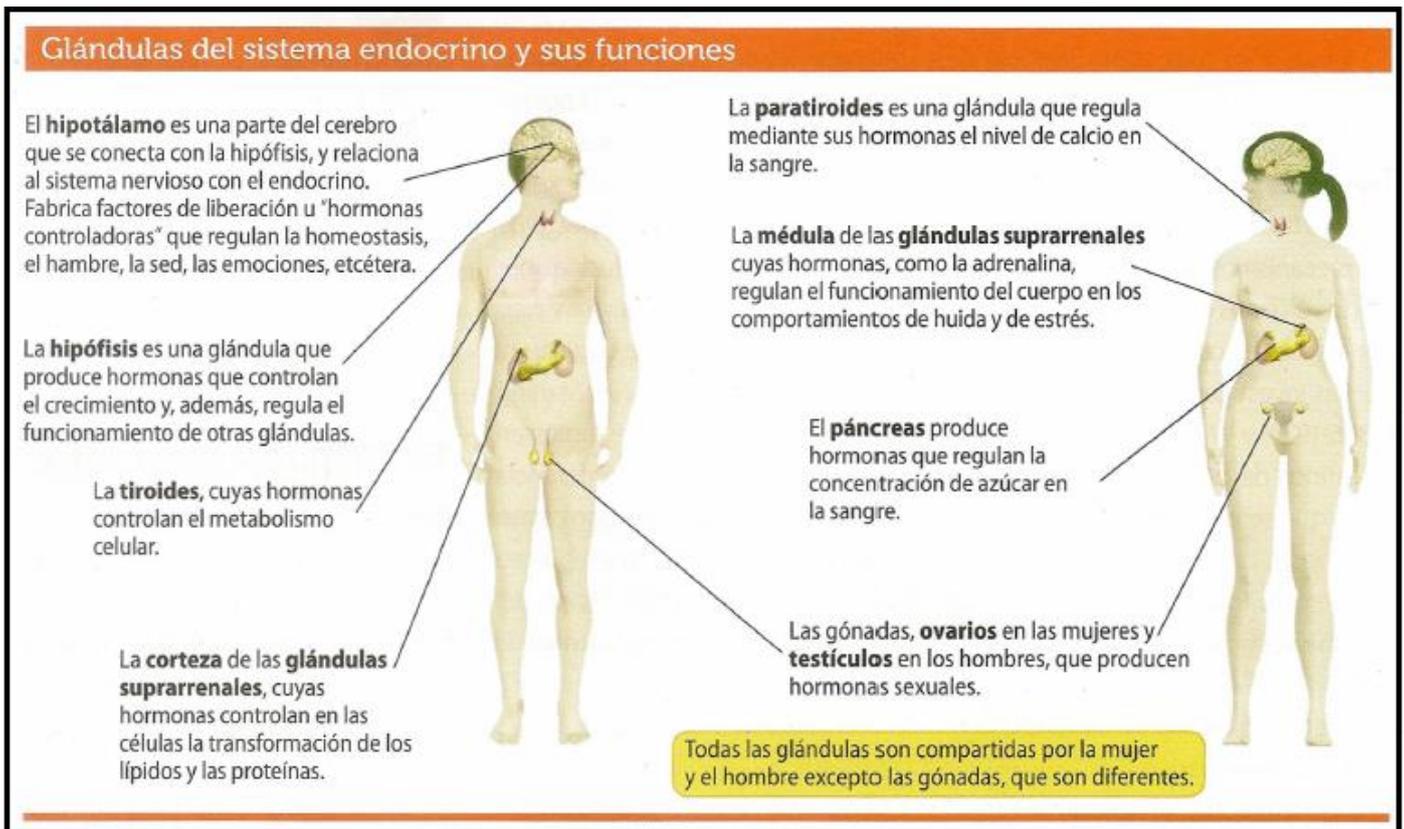
- Las **glándulas mixtas** o anfícrinas actúan, a la vez, como glándulas endocrinas y exocrinas, por ejemplo, el páncreas, que produce las hormonas insulina y glucagón, que se liberan al torrente sanguíneo, y las enzimas del jugo pancreático, que se liberan en el intestino.



Las hormonas y la homeostasis

En muchos casos, las hormonas son las responsables de participar en la regulación de los mecanismos homeostáticos. De hecho, el mantenimiento de las concentraciones de las hormonas en la sangre es parte de los procesos de homeostasis del organismo. En otros casos, el rol de las hormonas es aumentar o disminuir la concentración de algún metabolito* importante para el cuerpo, como el calcio o la glucosa. Muchas veces, el margen de regulación es estrecho, y un pequeño cambio en la concentración de alguna molécula presente en la sangre implica padecer una enfermedad. Los médicos emplean los valores de la concentración en la sangre de distintas sustancias para constatar el normal funcionamiento de nuestro cuerpo o para diagnosticar diferentes tipos de enfermedades en nuestro organismo.

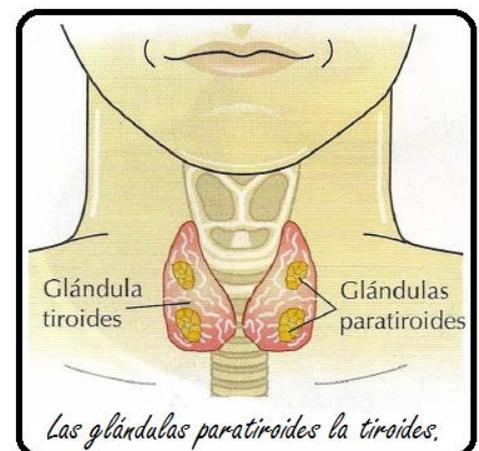
La **homeostasis** (del griego *homos*, 'similar', y *estasis*, 'estabilidad') es la capacidad de un sistema -un organismo- de regular sus condiciones internas, de modo tal que se mantengan estables, dentro de cierto rango de variación.



LAS HORMONAS DEL METABOLISMO

La **tiroides** es una glándula endocrina ubicada por delante de los anillos superiores de la tráquea, y está formada por dos lóbulos que le confieren un aspecto similar al de una mariposa. La principal función de esta glándula es regular el metabolismo del cuerpo. En sus células, se producen dos hormonas, la **tiroxina** y la **triyodotironina**, derivadas del aminoácido tirosina que, en su estructura, contiene yodo, y un elemento químico esencial que es abundante en el agua marina, y que incorporamos con ciertos alimentos, como los mariscos, las algas y algunos peces marinos. Las hormonas tiroideas son imprescindibles para la vida humana, en cualquiera de sus etapas. Durante el desarrollo del feto, tienen un papel central en la diferenciación y en la maduración del sistema nervioso central. En el organismo adulto, regulan el consumo de oxígeno de todas las células e intervienen en el metabolismo de los hidratos de carbono, las proteínas y los lípidos. No existe órgano ni sistema del cuerpo en el que su presencia activa no sea necesaria para su buen funcionamiento. Todas las células del cuerpo tienen receptores que captan estas hormonas, y cada uno de estos transduce distintas respuestas en las células blanco.

La producción de las hormonas tiroideas se encuentra regulada por una hormona secretada por la **hipófisis**, la **tirotrópica** o **TSH**. A su vez, la hipófisis es estimulada para liberar esta hormona por el **hipotálamo**, que secreta la hormona liberadora de tirotrópica o **TRH**.



EL HIPOTIROIDISMO Y EL HIPERTIROIDISMO

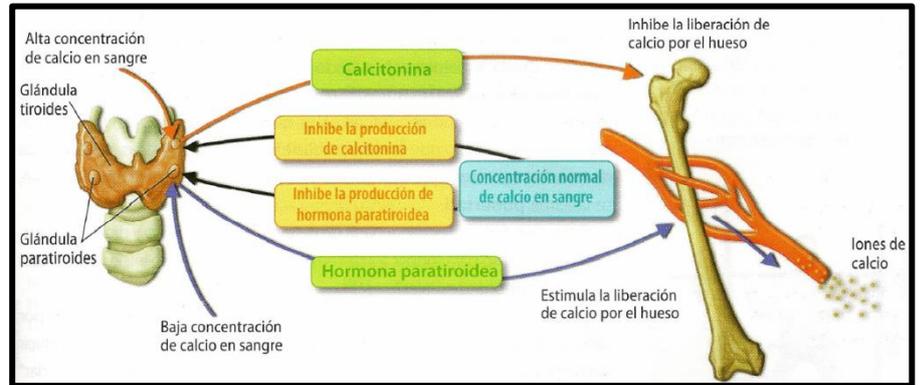
El déficit de las hormonas tiroideas genera un trastorno metabólico que se denomina **hipotiroidismo**, que produce cansancio, retención de líquido, lentitud mental, deterioro de la función de otros órganos. El exceso de estas

hormonas se llama **hipertiroidismo** y genera un aumento del metabolismo basal, con la consecuente disminución de peso, excitación y debilidad muscular, entre otros síntomas. Ambas condiciones, en casos graves, pueden conducir a la muerte. En las regiones alejadas del mar, se detectan muchos casos de personas con déficit de hormonas tiroideas, dado que la tiroides necesita tanto de aminoácidos como de yodo para elaborarlas. En la Argentina, la Ley 17259, de 1967, establece la obligación de que toda sal de mesa que se comercialice esté adicionada con yodo, para evitar la enfermedad llamada bocio endémico, antes, muy frecuente en las zonas cercanas a la cordillera.

En este trastorno, la tiroides aumenta de tamaño: en casos extremos, puede llegar a pesar un kilogramo mientras que, en un adulto sano, su peso oscila entre los 15 y 30 gramos.

LA GLÁNDULA PARATIROIDE

La paratiroides son cuatro pequeños órganos ubicados por detrás de la glándula tiroides, a los lados de la tráquea, que pesan unos 30 gramos, segrega la hormona paratiroidea, o parathormona.

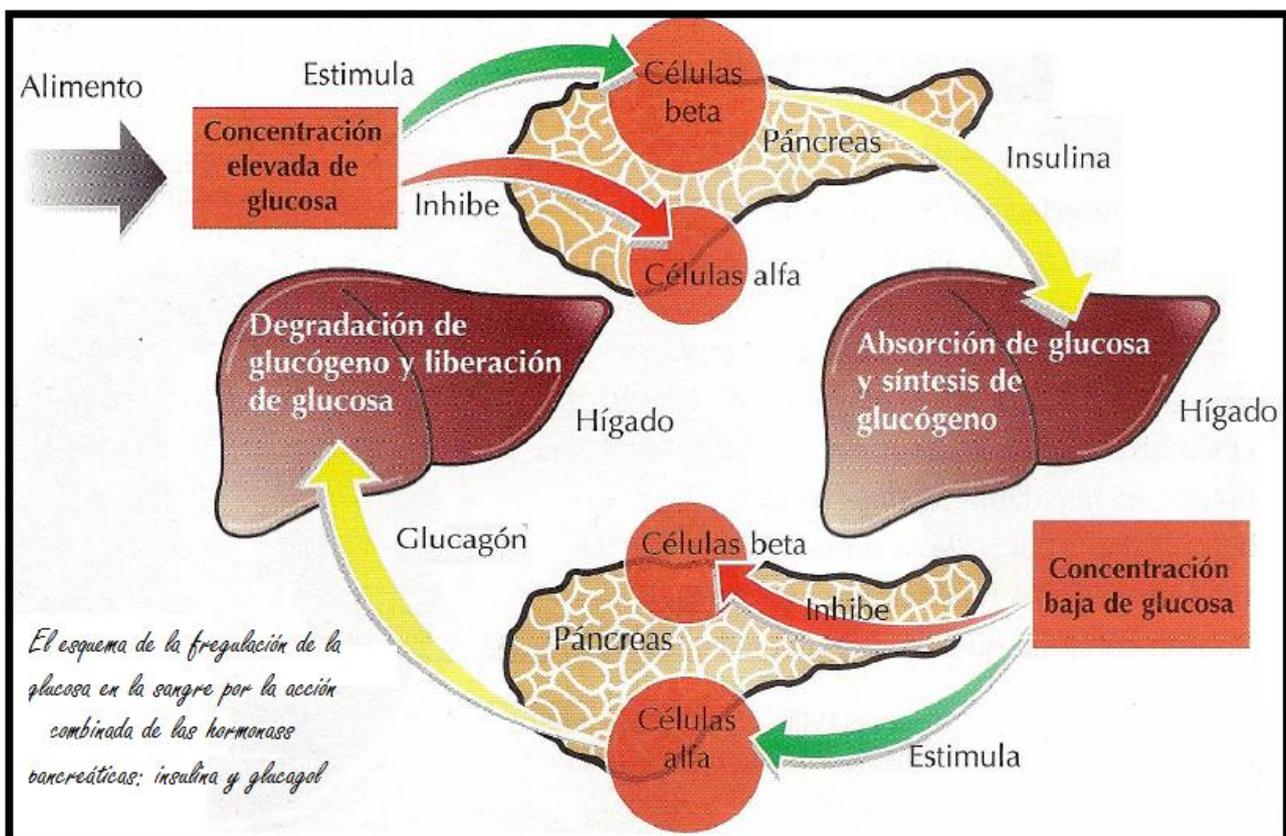


La calcitonina y la parathormona actúan de manera conjunta al regular el nivel de calcio en sangre.

- La **calcitonina** disminuye la liberación de calcio en el hueso y el nivel en la sangre (hipocalcemiante).
- La **parathormona** estimula la liberación de calcio en el hueso y aumenta su nivel en la sangre (hipercalcemiante). Además, favorece la eliminación de fósforo con la orina.

Estas glándulas no se encuentran estimuladas por la hipófisis. Sus células captan de forma permanente la concentración de calcio en la sangre a través de un receptor de membrana de la superficie celular.

LAS HORMONAS REGULADORAS DE LA GLUCOSA



La glucosa (del griego *gleukos*: 'mosto', 'vino dulce') es un hidrato de carbono, el compuesto orgánico más abundante en la naturaleza, libre o combinado con otras sustancias. Es la fuente primaria de energía de todas las células y se encuentra en todos los tejidos del cuerpo. La medida de la concentración de glucosa libre en la sangre se denomina glucemia y constituye un parámetro de evaluación habitual para los médicos, porque es una de las variables más importantes que regulan la homeostasis.

En ayunas, los niveles normales de glucosa oscilan entre los 70 y los 100 miligramos por decilitro. Si los valores son inferiores se habla de hipoglucemia, si los superan, de hiperglucemia.

El páncreas es una glándula anfícrina de 20 cm de largo ubicada en la cavidad abdominal, detrás de la parte inferior del estómago. Como glándula exocrina elabora el jugo pancreático, que se vierte al intestino. Como glándula endocrina elabora, principalmente, insulina y glucagón. Estas últimas son producidas por grupos de células pancreáticas denominadas islotes de Langerhans. Las células alfa de los islotes segregan el glucagón y las células beta, la insulina, que conjuntamente actúan en la regulación de la glucemia, o nivel de glucosa en la sangre (con valores normales que oscilan entre 80 y 100 por cada 100 ml de sangre).

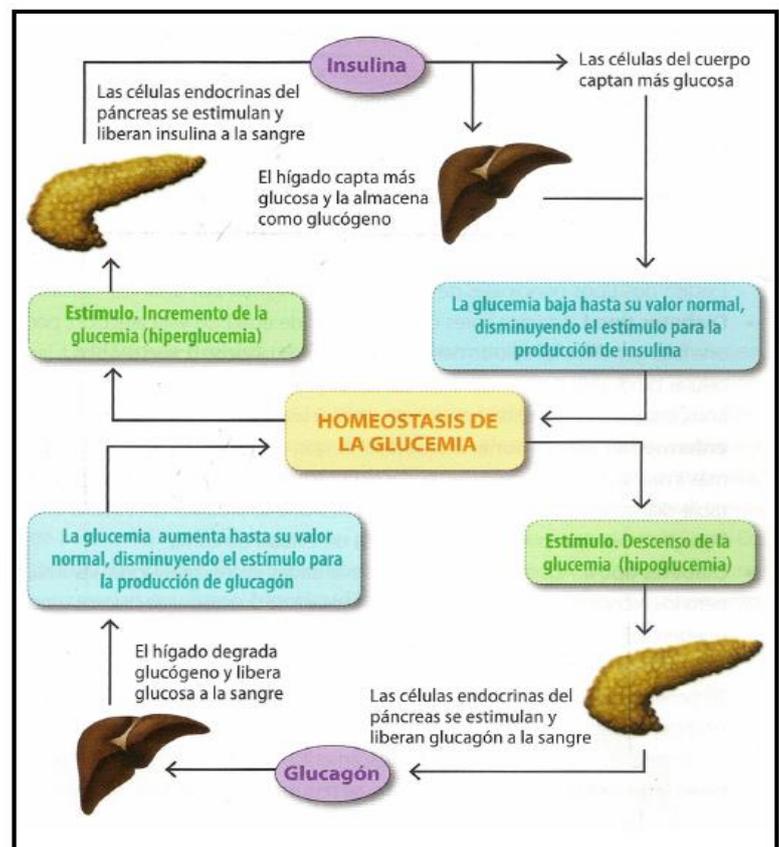
A su vez, el hígado es el principal órgano regulador de este nivel de glucosa en sangre y del metabolismo general de los hidratos de carbono (por la interconversión entre el glucógeno y la glucosa).

Acción conjunta de la insulina y el glucagón

El glucagón eleva el nivel de glucosa en la sangre, en casos de hipoglucemia, por lo que se considera una hormona *hiperglucemiante*. La insulina, en cambio, disminuye la concentración elevada de glucosa en la sangre (hiperglucemia), por lo cual es una hormona *hipoglucemiante*. Ambas hormonas, en conjunto, mantienen la homeostasis de la glucosa y de otros nutrientes que circulan en el torrente sanguíneo.

EL MECANISMO DE RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA

¿Cómo actúan las hormonas que fabrica el páncreas? La insulina promueve la captación de glucosa por parte del hígado y su transformación a glucógeno, mientras que el glucagón tiene el efecto contrario, estimulando la transformación de glucógeno a glucosa y liberándola al torrente sanguíneo. Esto significa que la insulina y el glucagón tienen efectos antagónicos. Ahora bien, ¿cómo "funciona" todo este mecanismo?, ¿de qué manera el páncreas detecta cuándo tiene que liberar más o menos de una de estas hormonas para que sus efectos antagónicos se complementen de modo de mantener el valor normal de la glucemia? Si observamos detenidamente, cada una de las hormonas se controla en forma independiente. En ambos casos, cuando la concentración de la glucemia vuelve a su valor normal, esta actúa como información para el páncreas, inhibiendo la producción de las hormonas. Este mecanismo



por el cual el resultado de la acción de una hormona interrumpe su producción se llama retroalimentación negativa y constituye la base de la regulación hormonal en la homeostasis.

LAS GLÁNDULAS SUPRARRENALES Y LAS HORMONAS DEL COMPORTAMIENTO

Las glándulas suprarrenales, o adrenales, están ubicadas en el extremo superior de los riñones. La parte central, o médula adrenal, está rodeada por la corteza suprarrenal. La médula adrenal elabora adrenalina y noradrenalina. Estas hormonas pasan a la sangre por acción del sistema nervioso simpático, reforzando y amplificando su acción. La corteza adrenal segrega numerosas hormonas denominadas corticosteroides, que se dividen en glucocorticoides, mineralocorticoides y gonadocorticoides.

- Glucocorticoides, como el cortisol y la corticosterona: ayudan en el control del nivel de la glucosa (elevan el nivel de glucosa en la sangre a partir del glucógeno almacenado en el hígado).
- Mineralocorticoides, como la aldosterona, la más conocida: cambian la permeabilidad de los túbulos y conductos renales, regulando la absorción y eliminación de agua en la orina, la reabsorción de sodio y la excreción de potasio.
- Gonadocorticoides (andrógenos y estrógenos adrenales): complementan la acción de las hormonas segregadas por las glándulas sexuales.

LA ADRENALINA

La adrenalina (del latín ad, 'al lado', y el adjetivo renal, 'del riñón') es una hormona derivada del aminoácido tirosina, que presenta efectos sobre muchas células de nuestro organismo. Esta hormona fue identificada en el año 1895 por el científico polaco Napoleón Cybulski, quien obtuvo los primeros extractos de esta. Sin embargo, esos extractos estaban mezclados con otras sustancias. La

adrenalina es producida por la glándula suprarrenal, ubicada en el abdomen, por encima de los riñones. Esta glándula tiene dos partes que se pueden diferenciar al microscopio óptico: la corteza, ubicada próxima a la superficie de la glándula, y la médula, la parte más interna. La adrenalina es producida por unas células situadas en la médula, llamadas células cromafines, que la almacenan en vacuolas. Ante la presencia de un factor estresante, la información llega a los centros de procesamiento localizados en el cerebro, como el hipotálamo. Desde allí, se generan impulsos nerviosos que viajan por los nervios y llegan hasta la médula de la glándula suprarrenal, donde estimulan a las células cromafines a liberar la adrenalina. Esta viaja por la sangre y actúa sobre órganos blanco, que son fundamentales para responder al estrés, como el corazón, el pulmón y los músculos. La adrenalina actúa sobre diversos órganos, contrae o relaja el músculo liso que recubre a los vasos sanguíneos y aumenta o disminuye la cantidad de sangre que llega hasta ellos. También actúa sobre el hígado: lo estimula para que libere glucosa a la sangre, y sobre el tejido adiposo: lo induce a liberar lípidos. Tanto la glucosa como los lípidos son moléculas ricas en energía, la cual es muy necesaria para las células que, en situaciones de estrés, aumentan mucho su gasto energético. Asimismo, favorece la dilatación de las pupilas y aumenta la respiración. La hormona adrenalina se vincula con los deportes extremos. Napoleón Cybulski (1854-1919), fisiólogo polaco que descubrió la adrenalina.



LA NORADRENALINA

En la médula de las glándulas suprarrenales, también se produce la hormona llamada noradrenalina, similar en estructura y función a la de la adrenalina, y que actúa aumentando la presión arterial por vasoconstricción, pero sin afectar al gasto cardíaco. Se demostró que, si se elimina esta hormona, el cerebro genera una disminución del impulso y de la motivación, que se puede relacionar con los estados depresivos. Además, la noradrenalina se relaciona con impulsos, como la ira, y con el placer sexual.



EL CORTISOL

El cortisol es una hormona esteroide secretada por la corteza de la glándula suprarrenal. Su secreción está regulada por una hormona peptídica de la hipófisis, denominada adenocorticotropina o ACTH.

La secreción de cortisol es variable y depende de la intensidad del factor estresante. Por ejemplo, un examen oral en la escuela induce la producción de esta hormona, que finaliza rápidamente al concluir aquel. En cambio, un traumatismo moderado, como la fractura de un hueso, induce la liberación de cortisol durante uno o dos días. Si el estímulo estresante fuera muy severo, como una quemadura extensa, la secreción de la hormona podría durar dos semanas.

La adrenalina y el cortisol tienen efectos complementarios, dirigidos a preparar al cuerpo para enfrentar el factor estresante. La diferencia entre ambas hormonas reside en que la adrenalina se libera, actúa y desciende su concentración rápidamente; los niveles sanguíneos de cortisol, en cambio, se elevan y descienden con lentitud, y su acción es a través de un receptor intracelular, que modifica la síntesis de proteínas, procesos celulares que requieren cierto tiempo. Una de las funciones primarias del cortisol es elevar los niveles sanguíneos de glucosa, ya que actúa a nivel del hígado para que este libere sus reservas. Es una hormona con múltiples funciones catabólicas, es decir, que transforman las moléculas complejas en otras más sencillas. Por lo tanto, además de la glucosa, se elevan los niveles sanguíneos de los aminoácidos –provenientes de la degradación de proteínas–, y también de los lípidos –aportados por el tejido adiposo.

HORMONAS Y DESARROLLO: LA PUBERTAD

Hasta los 8 o 9 años, solo se crece en tamaño, gracias a la hormona de crecimiento humano producida por la hipófisis. A partir de esa edad, una serie de cambios comienzan lentamente a hacerse visibles en nuestro cuerpo. Estos son cambios que normalmente nos suceden a todos, biológicamente necesarios, pues nos preparan para la reproducción y, con ello, la continuidad de la especie. Estos cambios comienzan cuando se activan los ovarios en las mujeres y los testículos en los hombres. Eso significa que estos empiezan a liberar mayor cantidad de hormonas sexuales que, como veremos, controlan los cambios en el cuerpo que le dan a cada sexo sus características. A esta etapa de transformaciones, que ocurre entre los 9 y los 15 años aproximadamente, se la llama pubertad.

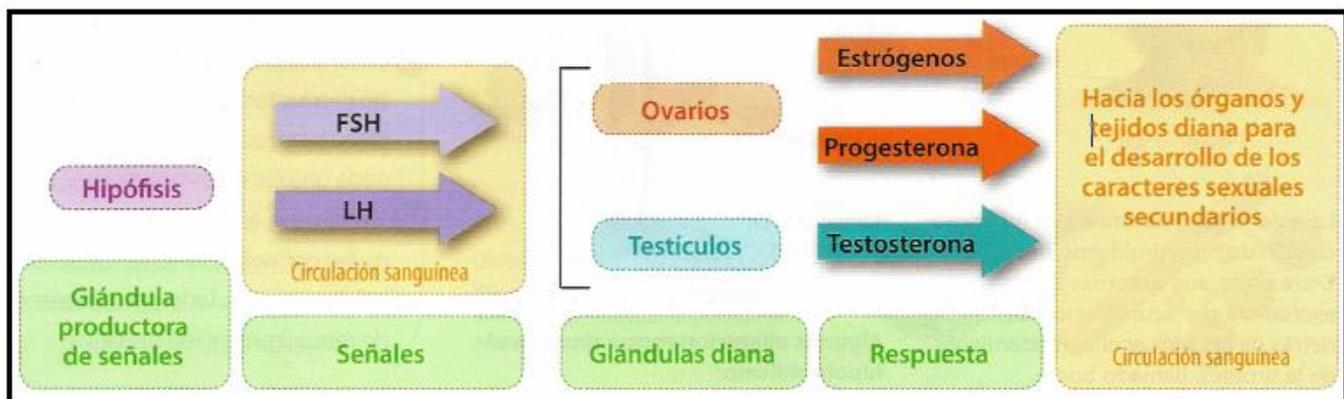
Pero ¿por qué comienzan a partir de determinado momento y dicho momento no es el mismo para todos?, ¿quién envía la señal para que se inicie la liberación de estas hormonas sexuales?

Muchas glándulas, como hemos mencionado, están a su vez controladas por otras glándulas, es decir que deben esperar sus señales para comenzar a producir sus hormonas. En el caso de los ovarios y de los testículos, estos deben "aguardar" la "orden" de la glándula hipófisis, ubicada en el encéfalo.

La FSH es la hormona foliculoestimulante, mientras que la LH es la hormona luteinizante; junto con la prolactina (que solo actúa en las mujeres), se las llama en conjunto gonadotrofinas y son de naturaleza proteica. El momento en que empiezan a fabricarse depende de los factores ambientales y genéticos.

En los testículos, la respuesta a la hormona foliculoestimulante activa la producción de espermatozoides, mientras que la hormona luteinizante provoca la producción de testosterona, la hormona sexual masculina. Las gonadotropinas, en el sexo masculino, se liberan de forma más o menos continua, por lo que la producción de espermatozoides es constante.

En el sexo femenino, la hormona foliculoestimulante desencadena la maduración de los óvulos y la producción de estrógeno, mientras que la hormona luteinizante estimula la fabricación de progesterona. En este caso, las gonadotropinas se liberan a intervalos regulares, ocasionando el ciclo menstrual. Las hormonas sexuales femeninas y masculinas son lípidos; por ello resultan perjudiciales las dietas estrictas o la excesiva actividad física que provocan gran pérdida de grasa corporal, y hasta puede llegar a interrumpirse el ciclo menstrual en las mujeres, con consecuencias a veces irreversibles, como el normal desarrollo de las mamas, entre otras.



LAS HORMONAS SEXUALES

Los tejidos que pueden reconocer como señal a las hormonas sexuales son aquellos que poseen las células con receptores específicos para ellas; sin embargo, no todos estos tejidos responden de la misma manera ante las señales del estrógeno y la progesterona en las mujeres, y la testosterona en los varones.

En ambos sexos aumenta la estatura rápidamente, es frecuente la aparición del acné; y se desarrolla el impulso

sexual. Pero en las mujeres, las hormonas femeninas, además, producen el inicio del ciclo menstrual con la menarca (primera menstruación en la vida de una mujer); y en los varones, las hormonas masculinas producen el aumento de tamaño de la glándula próstata y el comienzo de la producción del fluido seminal.

En el siguiente cuadro veremos de qué manera responden los tejidos ante las señales de las hormonas femeninas y masculinas.

En mujeres	En varones
Desarrollo de mamas	Mayor masa ósea y muscular
Caderas más anchas	Caderas estrechas
Hombros estrechos	Hombros más anchos
Grasa depositada principalmente en glúteos y muslos	Grasa depositada principalmente en abdomen y cintura
Vello corporal escaso y fino	Vello corporal grueso
Ausencia de vello facial	Presencia de vello facial
Piel más fina y suave	Piel más gruesa
Voz más aguda	Voz grave
Vello axilar	Vello axilar
Vello púbico	Vello púbico

EL CICLO MENSTRUAL

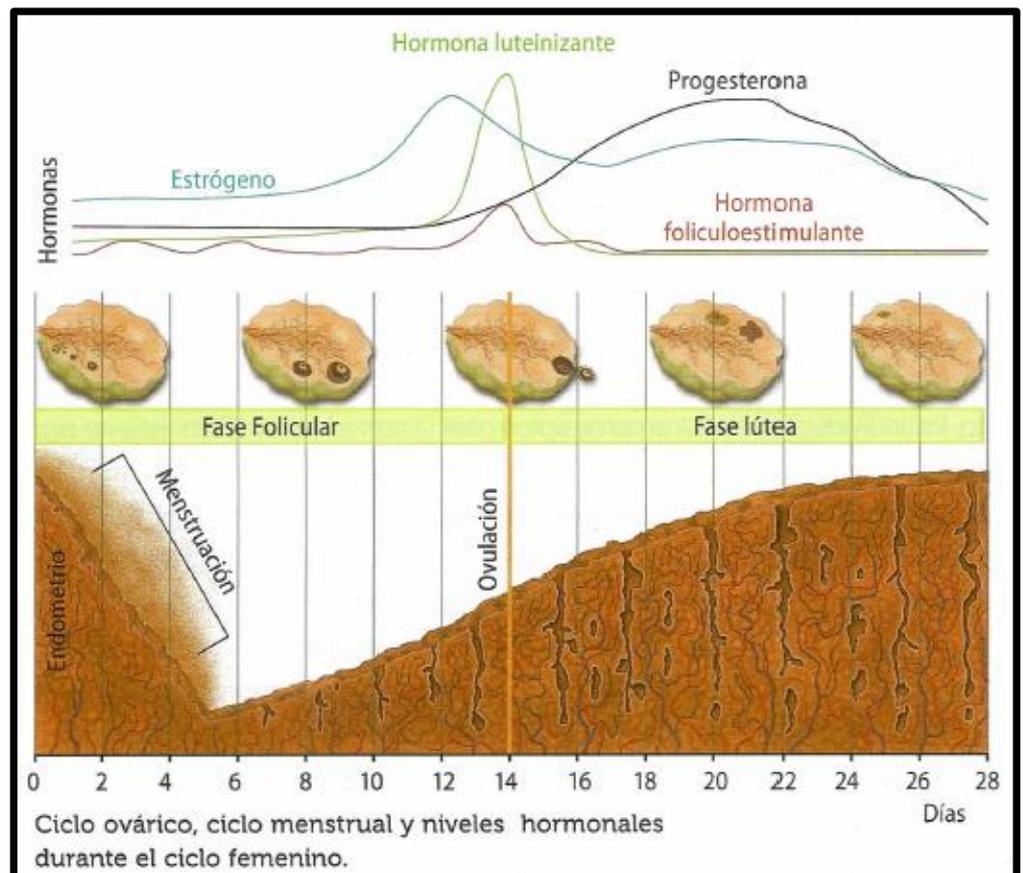
La menstruación es el desprendimiento del revestimiento interno del útero (endometrio) que causa una hemorragia; tiene lugar en ciclos aproximadamente mensuales. Marca los años reproductivos de la vida de la mujer, que se extienden desde la primera menstruación (menarca) y siguen durante la pubertad y la edad adulta hasta su cese (menopausia). Se considera que el primer día de hemorragia es el comienzo de cada ciclo menstrual que finaliza con el inicio de la siguiente menstruación. Los ciclos menstruales suelen durar unos 28 días. El ciclo menstrual se divide en tres fases:

- Fase folicular: durante la primera mitad de la fase, la hipófisis aumenta su secreción de hormona foliculoestimulante (FSH) y, en consecuencia, estimula el crecimiento de 3 a 30 folículos el ovario, cada uno de los cuales contiene un óvulo. Solo uno de dichos folículos sigue creciendo, los otros degeneran. En la menstruación, parte del endometrio se desprende en respuesta a una disminución en los niveles circulantes de estrógenos y progesterona.

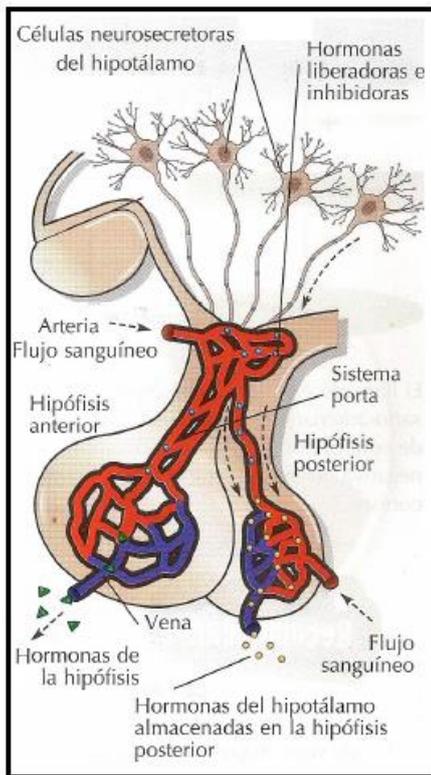
- Ovulación: se inicia al aumentar la hormona luteinizante (LH). La liberación del óvulo se produce entre 16 y 32 horas después del aumento hormonal. El único folículo que está creciendo sobresale de la superficie del ovario, se rompe y libera el óvulo. Esto ocurre cerca del día 14 del ciclo.

- Fase lútea: el folículo roto se cierra después de liberar el óvulo y forma un cuerpo lúteo que secreta cada vez más cantidad de progesterona, la cual ocasiona que el endometrio crezca, pues se prepara para nutrir al embrión en caso de

que se produzca un embarazo. Si no se produce la fecundación, la cantidad de progesterona liberada baja abruptamente el último día del ciclo, ya que el cuerpo lúteo va degenerando y el endometrio ya no tiene "quien" lo mantenga nutrido y engrosado. Entonces, del día 1 al 5 del ciclo este tejido se desprende de la pared del útero y es expulsado a través de la vagina.



LA INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS NERVIOSO Y ENDÓCRINO



Con anterioridad, se pensaba que los sistemas nervioso y endocrino actuaban con relativa independencia uno del otro, y que poseían características propias bien diferenciadas. En el sistema nervioso la información se transmite por impulsos nerviosos; en el sistema endocrino los mensajes son transmitidos por hormonas.

Sin embargo, con los distintos avances científicos y tecnológicos, desde el siglo xx, se pudo demostrar que existe una estrecha relación y una fuerte integración entre ambos sistemas. La disciplina científica que estudia las interacciones entre el sistema nervioso y el sistema endocrino se denomina Neuroendocrinología.

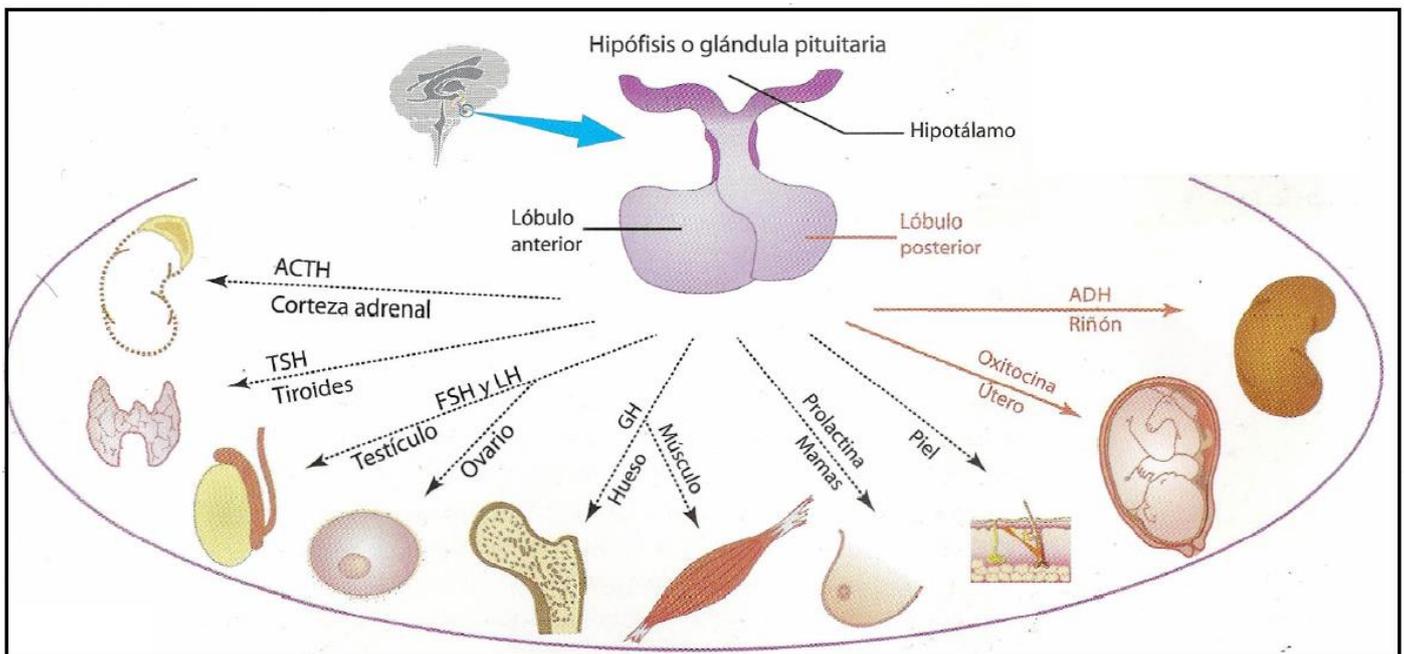
El hipotálamo y la hipófisis

El sitio donde se realiza esa integración es el hipotálamo, estructura ubicada en la base de la parte central del cerebro, a la que llega información de dos maneras: a través de los axones de neuronas ubicadas en distintos lugares del cerebro; o bien, a través de hormonas provenientes de todo el cuerpo, que circulan por pequeños vasos sanguíneos. Asimismo, un grupo de neuronas del hipotálamo secreta hormonas, a menudo llamadas neurohormonas, que

actúan sobre la hipófisis y regulan su producción hormonal.

La hipófisis secreta hormonas que actúan sobre otras glándulas endocrinas de dos formas: favoreciendo el crecimiento y la nutrición de esas glándulas, y estimulando la producción y secreción de sus respectivas hormonas. Debido a estas características, se considera que el sistema endocrino, al igual que el nervioso, está organizado de manera jerárquica: las estructuras que se encuentran en la cabeza controlan las del resto del cuerpo.

En el sistema endocrino, el control es ejercido, en conjunto, por el hipotálamo y la hipófisis, que gobiernan el resto de las glándulas endocrinas. En el sistema nervioso, las estructuras que se hallan en la cabeza (encéfalo) controlan las del resto del cuerpo (médula espinal, nervios).



El investigador inglés Geoffrey W. Harris, considerado el "padre de la neuroendocrinología", descubrió que el hipotálamo y la hipófisis presentan un sistema de comunicación mediado por hormonas, que viajan un corto trecho por vía sanguínea, desde el hipotálamo hacia la hipófisis. Esas conexiones sanguíneas conforman un sistema particular de vasos, que se denomina porta, el que corresponde a un circuito circulatorio que se encuentra entre dos redes venosas. No es frecuente este tipo de conexiones en el cuerpo humano: se halla un sistema portal en el hígado, y otro que conecta el hipotálamo con la hipófisis; este último se denomina sistema porta hipofisario.

LAS HORMONAS DEL HIPOTÁLAMO

El hipotálamo produce dos neurohormonas peptídicas de acción directa sobre órganos del cuerpo, la hormona antidiurética o vasopresina, y la oxitocina. Ambas pasan a la hipófisis, donde se acumulan en su parte posterior, hasta el momento de su liberación. La función endocrina del hipotálamo funciona según mecanismos de retroalimentación negativa. La hormona antidiurética, por ejemplo, se libera al disminuir el agua corporal, viaja en la sangre y actúa en el riñón, que impide la salida del agua del cuerpo. El exceso de agua corporal es detectado por el hipotálamo, que deja de producir la hormona antidiurética, y el riñón incrementa la cantidad de orina. La oxitocina estimula la secreción de leche en las glándulas mamarias, y también, las contracciones del útero y de la vagina en el parto. Esta hormona parece estar vinculada con la excitación sexual y con el comportamiento reproductivo.

El resto de las hormonas del hipotálamo actúan como factores que regulan la secreción de hormonas de la hipófisis, como las que vimos en este capítulo: las hormonas liberadora de gonadotropinas, liberadora de del ACTH, liberadora de tirotrópina, liberadora de somatotropina y la somatostatina.