

SISTEMAS DE INTEGRACIÓN Y CONTROL

Cuando la respuesta es lenta y sostenida...

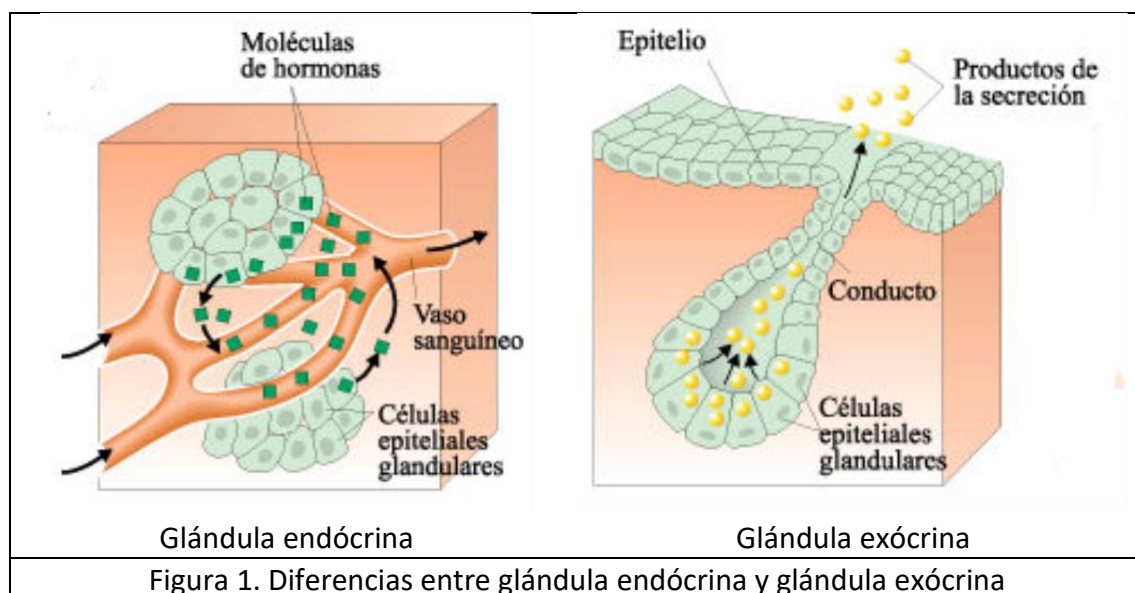
SISTEMA ENDÓCRINO

Autor: Liliana Bakker, 2017 Actualizado: Celia Iudica y Liliana Bakker, 2022.

El sistema endócrino es un sistema de comunicación constituido por un conjunto de glándulas de secreción interna distribuidas en diferentes regiones del cuerpo. En ellas se sintetizan y secretan hormonas, que son vertidas al torrente sanguíneo por el cual viajan a través de la sangre hacia las células sobre las cuales ejercen su acción, coordinando numerosas funciones corporales (figura 1).

El cuerpo humano contiene además otro tipo de glándulas denominadas **exocrinas** o de secreción externa. Estas no pertenecen a este sistema ya que liberan sus productos (que no son hormonas) en conductos específicos que se comunican con el exterior. Ejemplos de dichas glándulas son: las glándulas mamarias que secretan leche luego del parto, sebáceas productoras de sustancias lipídicas que lubrican y protegen la piel, sudoríparas productoras de sudor, salivales productoras de saliva (figura 1)

También hay varios órganos y tejidos denominados de secreción **mixta**, formados por una porción exócrina que liberan sus productos a través de conductos al exterior, y una porción endócrina que secreta hormonas al torrente sanguíneo, esta última porción forma parte del sistema endócrino. Ejemplos de estas son el páncreas y las gónadas: ovario y testículo.



En síntesis: el sistema endócrino es en conjunto un sistema de glándulas que se caracterizan por elaborar y segregar mensajeros químicos (hormonas) que son liberadas a la circulación sanguínea, para actuar sobre una célula, tejido u órgano que está generalmente distante.

Según su composición química las hormonas se clasifican en:

- **Esteroides:** como las hormonas de la corteza suprarrenal y las hormonas esteroides sexuales.
- **Oligopéptidos:** como la vasopresina y la oxitocina hipotalámica, la adrenocorticotrofina hipofisiaria, el glucagón del páncreas, entre otras.
- **Proteínas:** como la insulina del páncreas y la hormona del crecimiento, la prolactina, la foliculoestimulante, la luteinizante y la tirotrofina todas producidas por la hipófisis.
- **Derivadas de aminoácidos** como la adrenalina y la noradrenalina de la médula suprarrenal, la tiroxina de la tiroides y la melatonina de la glándula pineal.

Según su solubilidad en lípidos se distinguen dos grupos de hormonas:

- **Hormonas liposolubles:** atraviesan con facilidad la membrana plasmática de la célula y se unen a receptores en el citoplasma o el núcleo. La unión a receptores intracelulares activa la transcripción de genes es decir inducen la producción de proteínas, por lo tanto, es un mecanismo de acción lenta, requiriendo horas para su acción. A este grupo pertenecen entre otras las hormonas tiroideas, los glucocorticoides y las hormonas sexuales (figura 2.a).
- **Hormonas hidrosolubles o lipofóbicas:** no atraviesan la membrana celular uniéndose a receptores de membrana. Las hormonas que se fijan a la superficie celular inducen procesos metabólicos intracelulares a través de moléculas intermediarias, llamadas segundos mensajeros (la hormona es el primer mensajero), que se generan de la interacción entre mensajero y receptor. Este mecanismo que produce cambios en el funcionamiento de proteínas es de acción rápida, requiriendo según el tipo de receptor de membrana, milisegundos segundos o minutos. En este grupo de hormonas (de naturaleza proteica) se incluyen entre otras, la hormona de crecimiento, la prolactina, la insulina, el glucagón, la adrenocorticotrofina, la oxitocina y la tirotrofina (figura 2.b).

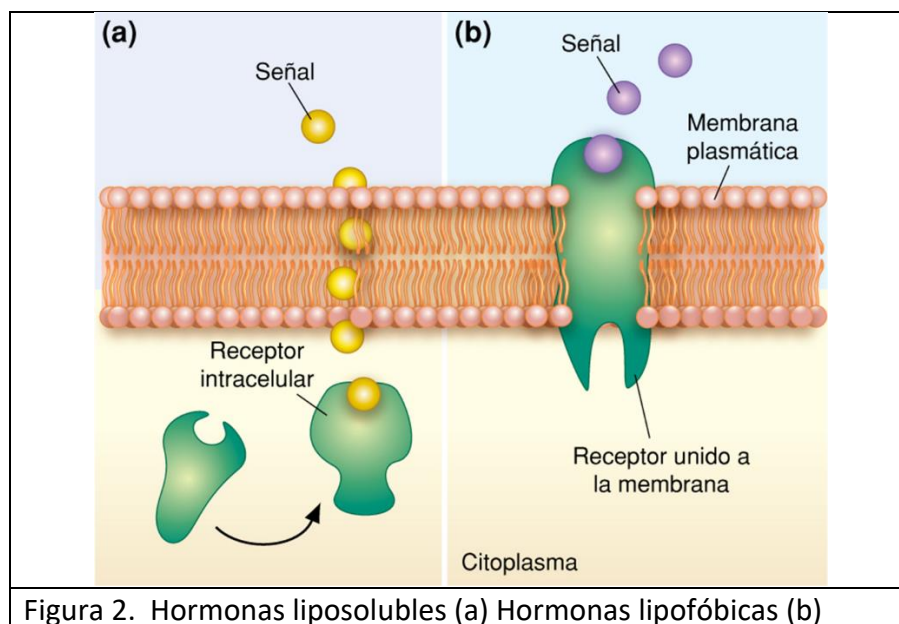


Figura 2. Hormonas liposolubles (a) Hormonas lipofóbicas (b)

CÉLULA-TEJIDO-ÓRGANO BLANCO

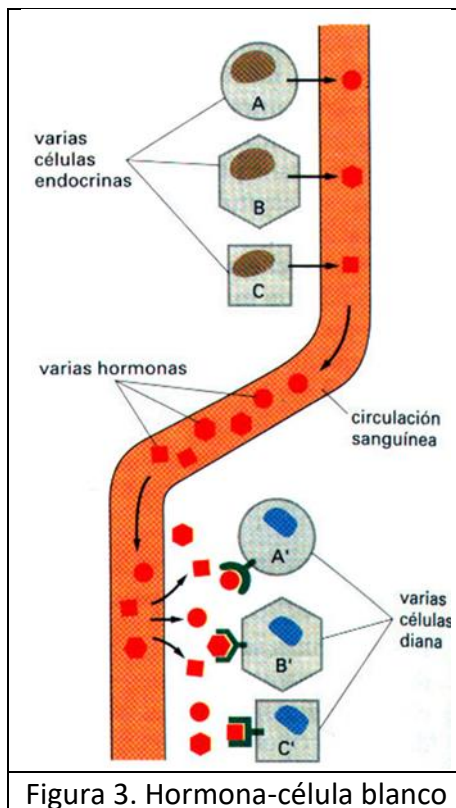


Figura 3. Hormona-célula blanco

hormonal -ubicadas a distancia- que reciben la señal química en sus sitios receptores específicos.

Para cada hormona, existen células, tejidos, u órganos denominados **blanco**, ya que sólo en ellos ejercerá su influencia.

Un tejido u órgano es *blanco* para una hormona cuando sus células poseen receptores específicos para dicha hormona. Generalmente un tejido u órgano suele ser *blanco* para varias hormonas diferentes.

Los receptores son generalmente proteínas con una forma especial a la que sólo se adapta su hormona correspondiente, del mismo modo que una pieza de rompecabezas sólo encaja con una segunda pieza si ésta tiene la forma apropiada (figura 3).

La unión de una hormona en el receptor específico de la célula blanco origina una serie de cambios en el metabolismo interno de dicha célula. Una hormona puede provocar cambios en más de una función de una célula determinada. Por tanto, en la comunicación intercelular endocrina, el mensajero químico es elaborado por una célula glandular de **secreción interna** o endocrina y volcado a la circulación general para acceder así, a las células efectoras de la respuesta

Diferencias en la comunicación celular entre el Sistema Nervioso y el Sistema Endócrino

De lo analizado se pueden establecer similitudes y diferencias en la comunicación célula a célula entre el sistema endócrino y el sistema nervioso.

En el sistema nervioso las señales eléctricas -impulso nervioso- son conducidas a lo largo del axón hasta el botón terminal, donde los mensajeros químicos (neurotransmisores) son liberados en la hendidura sináptica posibilitando el pasaje de la información de una célula a otra. El proceso completo tarda una fracción de segundo y el efecto es, de modo análogo, de duración breve.

En el sistema endócrino los mensajeros químicos (hormonas) difunden en el torrente sanguíneo que las transporta a través del cuerpo hasta los tejidos blanco. Este proceso de transporte puede insumir minutos u horas, dependiendo de cada hormona y los efectos son típicamente de larga duración.

El siguiente esquema resume las diferencias citadas:

	SISTEMA NERVIOSO	SISTEMA ENDÓCRINO
MENSAJE	Electroquímico	Químico
RESPUESTA	Rápida	Lenta
DURACIÓN	Breve	Sostenida

REGULACIÓN DE LA FUNCIÓN ENDÓCRINA

Las hormonas son compuestos químicos muy potentes, involucrados en la integración y control de las funciones fisiológicas del cuerpo, por lo tanto, es muy importante que se encuentren bajo un control muy estricto. Un aspecto del control se refiere a la regulación de sus concentraciones sanguíneas. Con muy pocas excepciones, las hormonas están bajo un control retroactivo negativo (retroalimentación o feed back negativo).

El ejemplo más simple de un sistema de retroalimentación negativo utilizado rutinariamente, es el termostato que regula el aire acondicionado. Cuando la temperatura se eleva por encima del nivel preestablecido, el termostato apaga el sistema; cuando la temperatura desciende por debajo del nivel, el termostato enciende el sistema.

En los organismos los sistemas raras veces están completamente activados o inactivados y el control homeostático se modula mucho más finamente. Sin embargo, el principio es el mismo: una desviación de la condición *preestablecida* estimula una respuesta que reduce la desviación.

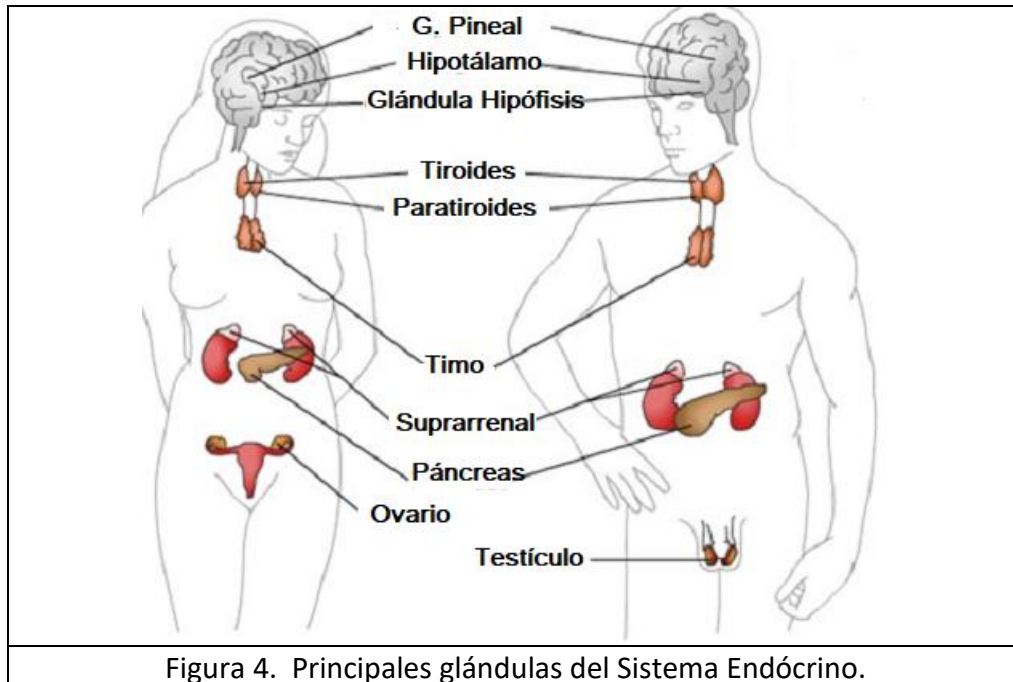
La producción de hormonas es regulada en muchos casos por un **sistema de retroalimentación o feed back negativo**, que hace que el exceso de producción de una hormona vaya seguido de una disminución compensatoria en la producción de dicha hormona hasta que se restablece el equilibrio (homeostasis).

La forma de operar de estos sistemas puede comprenderse mejor al examinar el funcionamiento de las distintas hormonas producidas en la parte anterior de la hipófisis conjuntamente con las demás glándulas endócrinas que están relacionadas con ella. Se analizarán los ejemplos de regulación hormonal al avanzar en el estudio de la glándula hipófisis y las glándulas periféricas.

LAS GLÁNDULAS ENDÓCRINAS Y SU LOCALIZACIÓN

- **Hipófisis** o glándula pituitaria, en la base del cerebro, conectada con el hipotálamo.
- Glándulas **tiroides y paratiroides** en la parte anterior del cuello.
- Glándulas **suprarrenales**, en el abdomen sobre los riñones.
- **Páncreas**, en el codo del duodeno, detrás del estómago y el hígado.
- Gónadas: **ovarios** en la pelvis, testículos en el escroto.
- Glándula **pineal** en el centro del cerebro.

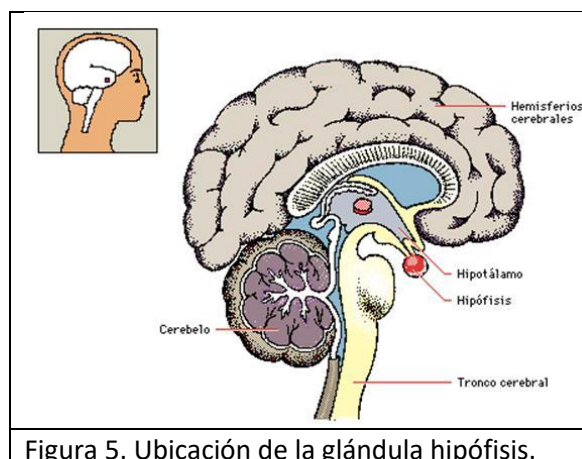
Además, otros tejidos producen hormonas, como los del sistema gastrointestinal que interviene en el control de la digestión; el tejido graso que interviene en el control de la ingesta y la masa corporal, entre otros.

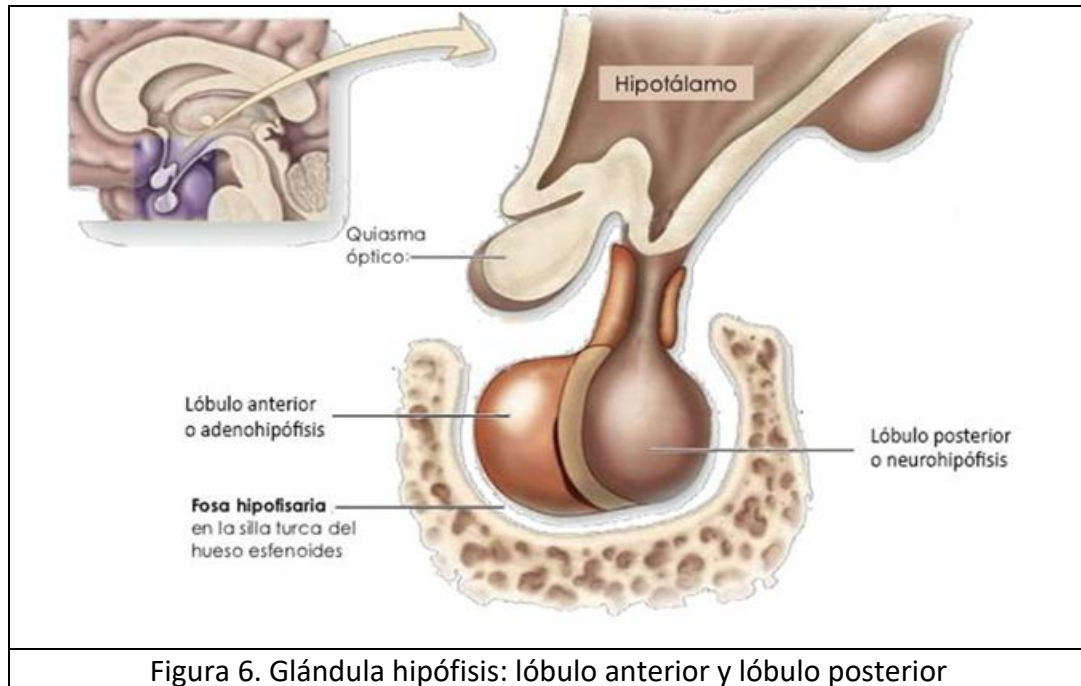


Centros de integración: El HIPÓTALAMO y la glándula HIPÓFISIS

La **hipófisis o glándula pituitaria**, está situada en la base del cerebro (figura 5), protegida sobre una concavidad ósea denominada *silla turca* en el hueso esfenoides y está unida al hipotálamo por un tallo, mide 1-1.5 cm. de diámetro, el tamaño aproximado de una avellana. La glándula consta de dos partes estructural y funcionalmente diferentes, la **adenohipófisis o lóbulo anterior** y la **neurohipófisis o lóbulo posterior** (figura 6).

El lóbulo anterior o adenohipófisis constituye aproximadamente el 75 % del peso total de la glándula. El lóbulo posterior llamado neurohipófisis contiene axones y terminales axónicos de más de 10.000 neuronas cuyos cuerpos celulares se localizan en dos núcleos grises del hipotálamo.





Durante mucho tiempo se consideró a la hipófisis como la glándula directriz porque secreta varias hormonas que controlan la producción hormonal de otras glándulas periféricas. Hoy se sabe que la hipófisis tiene a su vez un director: el **hipotálamo**.

Como se ha analizado anteriormente el hipotálamo es una pequeña región que forma parte del diencefalo situado en la base del cerebro debajo del tálamo (*hypo=debajo*) y es la conexión principal entre los sistemas nervioso y endócrino.

Está formado por un conjunto de núcleos grises¹ (figura 7) que reciben información procedente del sistema límbico, la corteza cerebral y el sistema reticular activador, a través de estas conexiones aferentes las experiencias dolorosas, estresantes y emocionales, producen cambios en la actividad del hipotálamo. También recibe señales sensoriales desde órganos internos y de la retina.

Los diferentes núcleos grises del hipotálamo procesan la información recibida y coordinan diversas funciones importantes para el mantenimiento de la homeostasis: controlan el funcionamiento del sistema nervioso autónomo, regulan la temperatura corporal, la sed, el hambre, la conducta sexual, las reacciones de defensa como el miedo y la ira y los ritmos biológicos. Incluidas dentro de las funciones mencionadas el hipotálamo tiene a su cargo el control de la función endócrina.

¹ Núcleo gris: grupo de cuerpos celulares neuronales ubicados dentro del SNC.

Más información Ficha bibliográfica Introducción a Sistema Nervioso, tema: Sustancia blanca y gris.

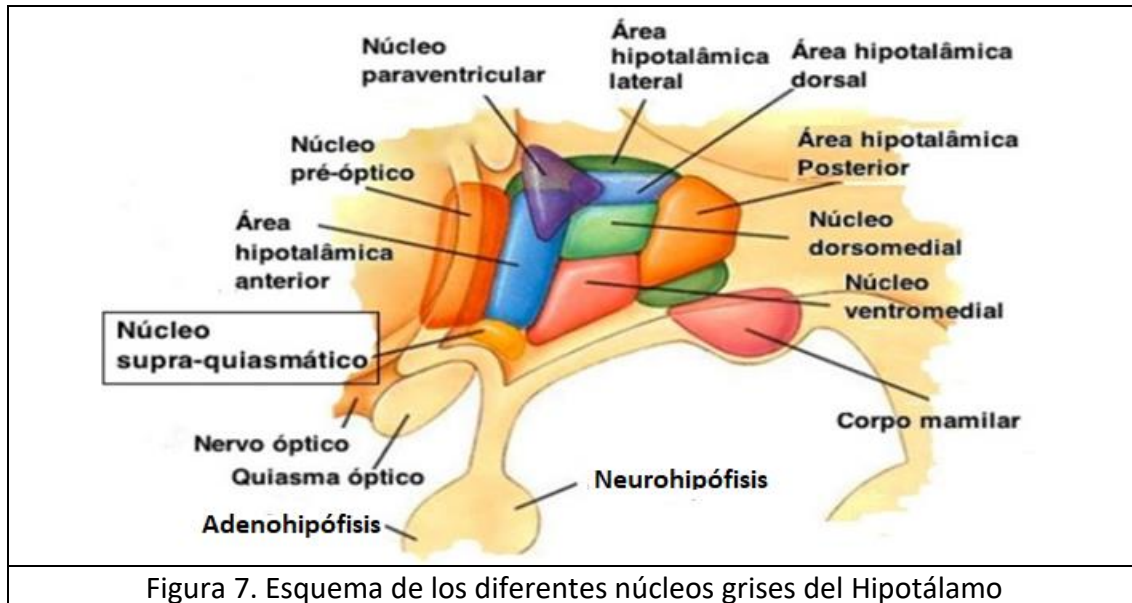


Figura 7. Esquema de los diferentes núcleos grises del Hipotálamo

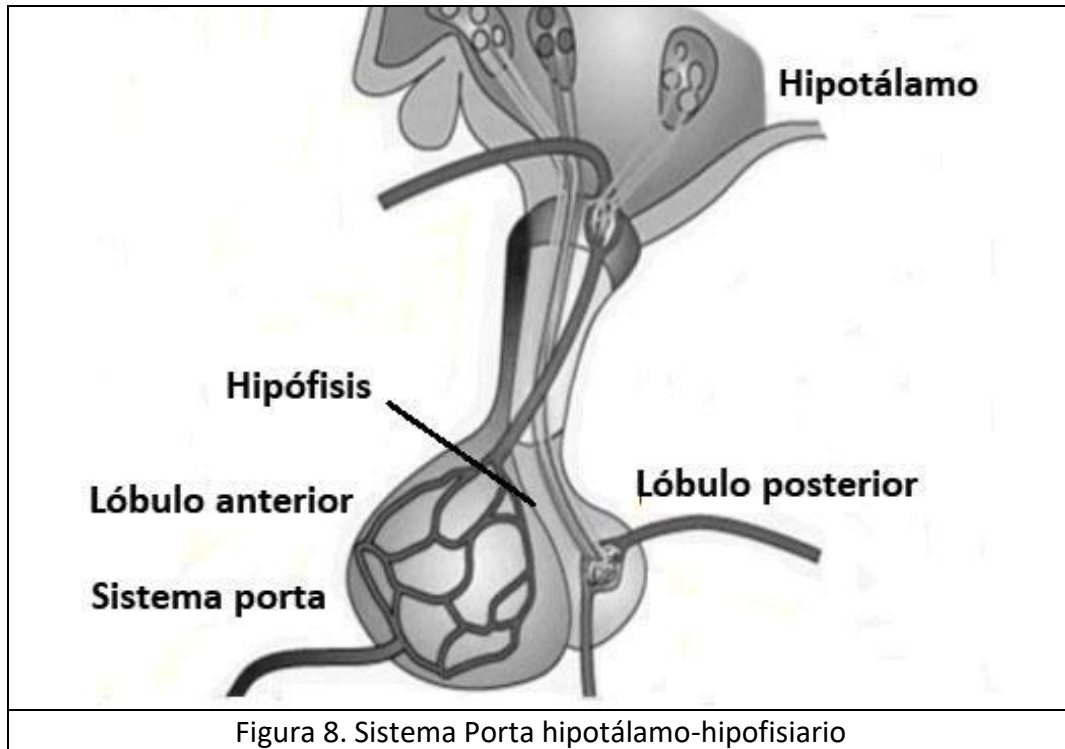
Las neuronas de los núcleos grises de la base del hipotálamo son células neurosecretoras con función neuroendócrina especializadas en la secreción y liberación de mensajeros químicos, denominados **neurohormonas** que interaccionan con la hipófisis.

La mayoría de estas neurohormonas viaja mediante un delicado sistema de vasos de conducción local, el **sistema porta hipotálamo-hipofisiario**, hacia el lóbulo anterior o adenohipófisis, en donde estimulan o inhiben las secreciones hormonales, de allí su denominación de **Factores de Liberación y Factores de Inhibición hipotalámicos**. Las células de la hipófisis anterior responden a las neurohormonas liberadoras o inhibidoras, aumentando o disminuyendo la salida de sus hormonas.

Un sistema porta es un circuito cerrado en el cual capilares² del hipotálamo y de la hipófisis están conectados por una vena, este sistema asegura que la sangre fluya principalmente en una dirección, desde el hipotálamo a la hipófisis anterior, posibilitando que las señales neurohormonales lleguen rápidamente a la hipófisis anterior antes de diluirse en la circulación general (figuras 8 y 9).

Otras neurohormonas hipotalámicas son transportadas y almacenadas en las terminales axónicas de sus neuronas que forman parte de la neurohipófisis o lóbulo posterior, una vez secretadas desde las terminales axónicas de la neurohipófisis se difunden hacia los capilares y de ese modo ingresan a la circulación general.

² Capilar: (del lat. *Capillaris*, relativo a pelo) Cada uno de los pequeños vasos sanguíneos de paredes muy delgadas por donde se produce el intercambio entre la sangre y los tejidos, y conectan el final de las arterias con el comienzo de las venas.



Las interrelaciones de la unidad hipotálamo-hipófisis regulan la función hormonal de otras glándulas: tiroides, suprarrenal y glándulas reproductivas (gónadas), y comparten el control del crecimiento y el desarrollo, la reproducción, la lactancia y el metabolismo en general.

Este sistema de comunicación química entre el hipotálamo y la hipófisis es la evidencia de un sistema neuroendócrino de regulación homeostática.

Lóbulo anterior de la hipófisis o Adenohipófisis

El lóbulo anterior de la hipófisis o adenohipófisis secreta hormonas que regulan un amplio rango de actividades corporales, desde el crecimiento hasta la reproducción.

Como se mencionó anteriormente la liberación de las hormonas de la hipófisis anterior es estimulada mediante neurohormonas liberadoras (Factores de Liberación) y se inhibe mediante neurohormonas inhibidoras (Factores de Inhibición) desde el hipotálamo.

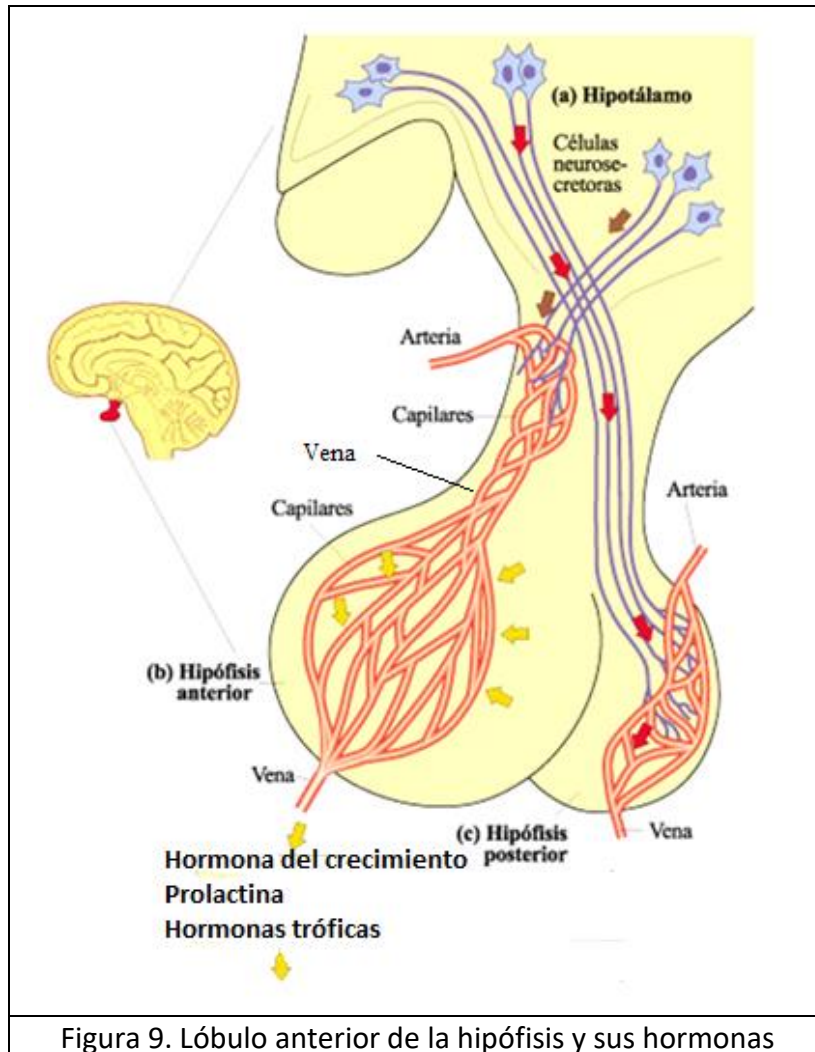
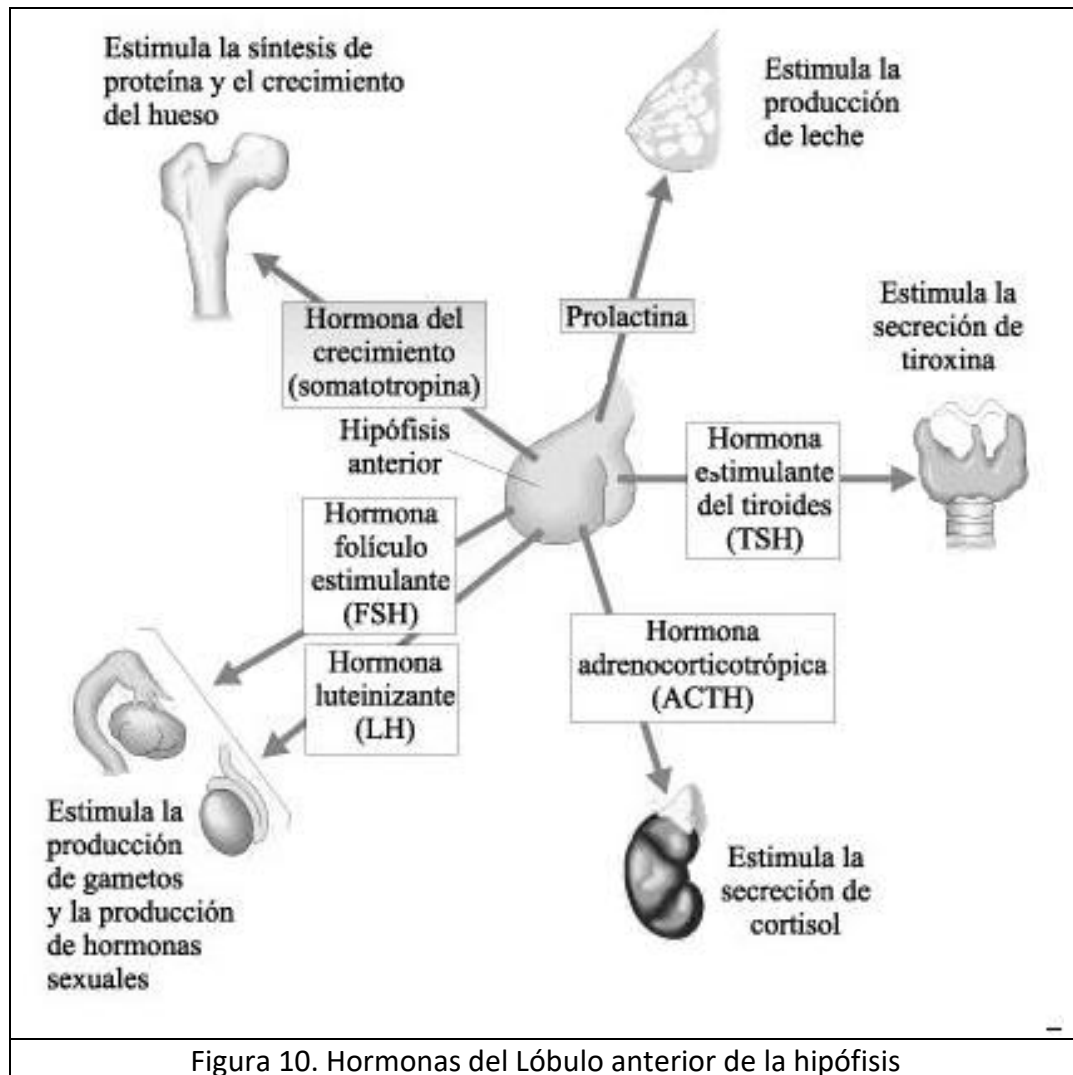


Figura 9. Lóbulo anterior de la hipófisis y sus hormonas

La hipófisis anterior produce y secreta seis (6) hormonas, cada una producida por un tipo celular diferente (figuras 9 y 10).

1. Hormona del crecimiento (HC) o Somatotrofina (STH)
 2. Prolactina (PRL)
 3. Tirotrofina (TSH)
 4. Adrenocorticotrofina (ACTH)
 5. Folículoestimulante (FSH)
 6. Luteinizante (LH)
- } Gonadotrofinas



Dos de las hormonas mencionadas, la Hormona del crecimiento y la Prolactina, son reguladas cada una por dos neurohormonas (Factores hipotalámicos); uno estimula la producción y el otro la inhibe.

- **HORMONA DE CRECIMIENTO (HC) o SOMATOTROFINA (STH)** es una hormona sistémica (actúa sobre los tejidos del cuerpo en general) estimulando el crecimiento somático postnatal y el desarrollo. Además, posee numerosas acciones sobre el metabolismo de las proteínas, las grasas y los hidratos de carbono. La secreción de esta hormona responde a estímulos múltiples: el ejercicio, el ayuno, el estrés, caída de la glucosa en sangre, la anestesia, la fiebre, entre otros.

En su ausencia, el crecimiento es lento y retardado. El efecto específico más notable es la estimulación del crecimiento lineal sobre las placas de cartílago epifisario de los huesos largos (Figura 10). Los órganos viscerales, las glándulas endócrinas, el músculo, el corazón y la piel responden a la presencia o ausencia de Hormona del Crecimiento.

La hipersecreción de la Hormona del Crecimiento en la vida adulta de un individuo determina un crecimiento constante de la cabeza y las extremidades que se conoce con el

nombre de acromegalia. Si el aumento de la secreción se produce desde la infancia del individuo, el crecimiento del cuerpo es general y el individuo padecerá gigantismo.

La baja estatura puede ser debida a deficiencia de Hormona de Crecimiento. Los individuos con deficiencia congénita de la hormona padecen enanismo, pero maduran sexualmente y las personas con capacidad de gestar que padecen la enfermedad pueden tener descendencia y lactar normalmente. En otro tipo de enanismos la concentración en sangre de la hormona es normal pero no hay respuesta del órgano blanco a la hormona.

La actividad secretora de las células hipofisiarias que producen hormona del crecimiento está controlada principalmente por dos neurohormonas hipotalámicas: el Factor Liberador de hormona de crecimiento que promueve su secreción y el Factor Inhibidor de hormona de crecimiento que la inhibe.

Un regulador fundamental de los Factores mencionados es el nivel de glucosa sanguínea. La hipoglucemia, una concentración de glucosa anormalmente baja, estimula al hipotálamo a secretar Factor Liberador, que fluye hacia la adenohipófisis en el sistema porta y estimula la secreción de hormona del crecimiento, que acelera la degradación de glucógeno hepático a glucosa, haciendo que la glucosa ingrese a la sangre más rápido, como resultado la glucosa asciende al nivel normal.

Por el contrario, la hiperglucemia, una concentración anormalmente alta de glucosa en sangre estimula la secreción del Factor de Inhibición, la cual inhibe la producción de hormona de crecimiento disminuyendo la degradación de glucógeno hepático, permitiendo el descenso en la concentración sanguínea de glucosa a los valores normales.

- **PROLACTINA (PRL)** es la hormona implicada en el crecimiento y desarrollo de las mamas y la producción de leche durante la gestación, por tanto, su producción se incrementa durante el embarazo y su acción fisiológica consiste en estimular la secreción láctea por parte de la glándula mamaria después del parto (Figura 10). Además, ejerce una influencia sobre la función reproductiva: bloquea la síntesis del Factor liberador de gonadotrofinas hipotalámico (GnRH), evitando la ovulación.

Su producción está controlada por un Factor de Liberación y un Factor de Inhibición (dopamina) hipotalámicos, este último con mayor influencia que el primero. Mientras la lactancia continúe, los impulsos nerviosos producidos por la succión de las mamas serán transmitidos al hipotálamo, que disminuye la producción de Factor Inhibidor de la prolactina. La hipófisis aumenta la producción y secreción de prolactina que, a su vez, actúa sobre las mamas para mantener la producción de leche. Una vez que cesa la succión, la síntesis y liberación de prolactina disminuye y, entonces, se detiene la producción de leche. De tal manera, el suministro es regulado por la demanda.

Las situaciones fisiológicas relacionadas con un aumento de prolactina son: el ejercicio, el estrés, el embarazo y la lactancia. Los estrógenos aumentan la síntesis de prolactina, así sus niveles plasmáticos son más elevados en personas con ovarios que en personas con testículos, y más en edad fértil que prepúberes o menopáusicas.

Además de la glándula mamaria hay receptores de prolactina en muchos otros tejidos, entre ellos el hipotálamo (respondiendo a la regulación), el hígado, los testículos, los ovarios, la próstata y el cerebro. La hiperprolactinemia (aumento de la concentración en sangre de la hormona) da por resultado una supresión o inhibición del eje hipotalámico-hipofisario-gonadal, quizá como consecuencia de efectos inhibidores de la prolactina en el hipotálamo o

las gónadas. Las concentraciones altas de prolactina que se observan en personas que amamantan por lo general dan por resultado supresión de un ciclo menstrual normal. La hiperprolactinemia patológica es una causa frecuente de esterilidad al inhibir la ovulación. Por último, también hay receptores de prolactina en los linfocitos T, y se ha demostrado que la prolactina tiene efectos estimuladores sobre la respuesta inmunitaria.

Las cuatro hormonas restantes secretadas por la adenohipófisis o lóbulo anterior son **hormonas tróficas**, es decir, hormonas que actúan sobre otras glándulas para regular sus secreciones. La secreción de todas las trofinas hipofisiarias están estimuladas por Factores de Liberación hipotalámicos.

- **TIROTROFINA (TSH)** es una hormona trófica cuya función es regular el crecimiento y metabolismo de la glándula tiroides y la producción de sus hormonas. Su secreción está regulada por la neurohormona hipotalámica, Factor Liberador de Tirotrófina (TRH).
- **ADRENOCORTICOTROFINA (ACTH)** es una hormona trófica que tiene por función regular la secreción y el crecimiento de la corteza suprarrenal. La secreción de ACTH responde de modo notable a estímulos estresantes, una respuesta que es crítica para la sobrevivencia (se ampliará en **Psicobiología del Estrés**). Su secreción está regulada por el Factor de Liberación de Adrenocorticotrofina (CRH)
- **GONADOTROFINAS: Hormona Luteinizante (LH) y Hormona Foliculoestimulante (FSH).** Su función es regular el crecimiento, la maduración puberal, los ciclos reproductivos y la secreción de hormonas sexuales por parte de las gónadas (ovario y testículo). Ambas hormonas se hallan presentes a las 10-12 semanas de vida fetal, pero ninguna parece necesitarse para el desarrollo gonadal intrauterino o para la diferenciación de los órganos reproductivos. La secreción de ambas gonadotrofinas es estimulada por una sola neurohormona del hipotálamo, el Factor Liberador de Gonadotrofinas (GnRH).

La producción y secreción de las hormonas de la hipófisis anterior dependen de la cantidad de hormonas producidas por las glándulas subordinadas y por las neurohormonas producidas por el hipotálamo.

El nivel de hormonas procedentes de las glándulas periféricas, tales como la glándula tiroides, glándulas suprarrenales y gónadas ejercen un mecanismo de *feed back* negativo no sólo sobre la secreción de la hipófisis anterior sino también sobre el hipotálamo, de forma que un nivel alto de hormonas procedentes de las glándulas periféricas provoca una inhibición en la liberación de sus hormonas correspondientes en la hipófisis y en el hipotálamo. Esto es posible debido a que las células de la hipófisis y el hipotálamo contienen receptores específicos para las hormonas periféricas.

Lóbulo Posterior de la hipófisis o Neurohipófisis

La hipófisis posterior o neurohipófisis está estrechamente ligada al lóbulo anterior pero no posee células secretoras, sino **almacena dos neurohormonas (oxitocina y vasopresina o antidiurética)** producidas por neuronas secretoras del hipotálamo, estas circulan por sus

axones y se almacenan en las vesículas terminales de los mismos alojados en el lóbulo posterior y desde allí se secretan al torrente sanguíneo cuando se las necesita (figura 11).

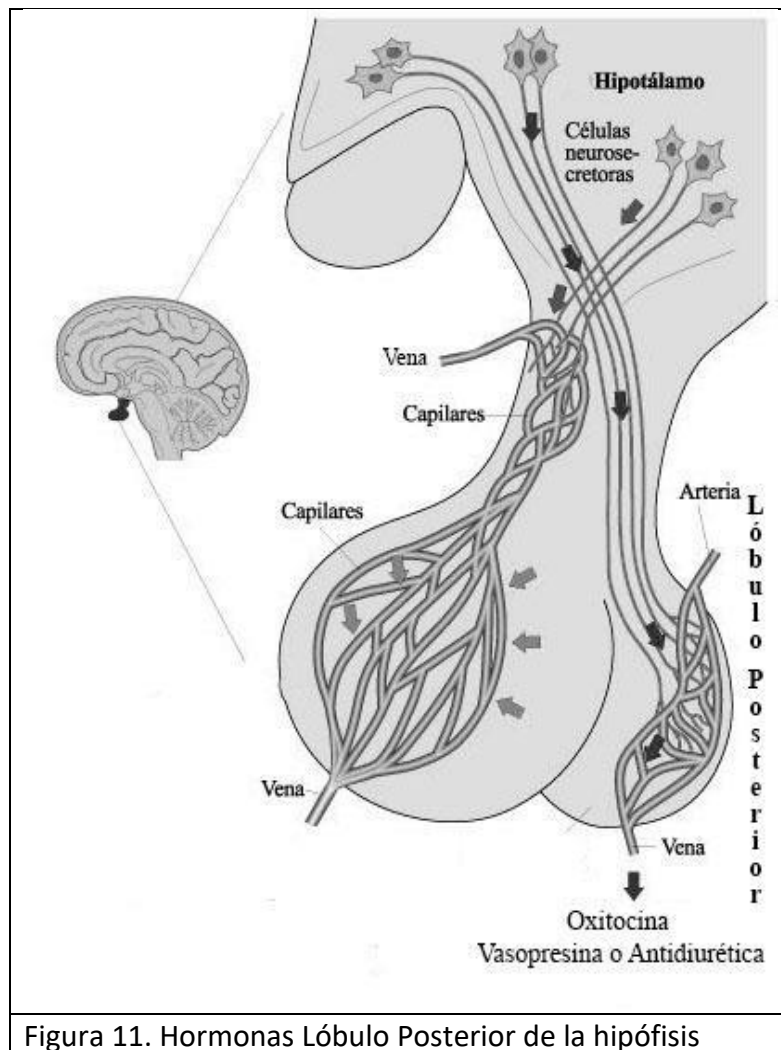


Figura 11. Hormonas Lóbulo Posterior de la hipófisis

- **OXITOCINA:** esta hormona incrementa su producción durante el parto estimulando la contracción de las células del músculo liso en la pared del útero, la liberación de oxitocina está bajo control del sistema nervioso y puede ser iniciada por la creciente presión dentro de la pared uterina o por movimientos del feto. Luego del parto, estimula la eyección de la leche (“bajada”) de las glándulas mamarias en respuesta al estímulo mecánico ejercido por la succión del pezón, esto empuja la leche desde los alvéolos hasta los conductos, desde donde es evacuada por el efecto de la succión. La oxitocina además de receptores en el músculo liso del útero y las glándulas mamarias posee receptores en el SNC. Diversos estudios dan cuenta que la hormona posee un rol modulador como facilitador en comportamientos de interacción social tales como el reconocimiento social, la conducta sexual, el emparejamiento y la conducta parental en distintas especies de animales, incluido el ser humano. Asimismo, la hormona modula positivamente la reactividad en la respuesta de estrés reduciendo la actividad de la amígdala (ver Psicobiología del estrés).

- **VASOPRESINA O ANTIDIURÉTICA (ADH):** la sangre transporta la hormona desde la neurohipófisis hacia tres tejidos blanco: los riñones, las glándulas sudoríparas y el músculo liso en las paredes de los vasos sanguíneos. La hormona es liberada cuando aumenta la concentración de sales en el cuerpo o ante la deshidratación, disminuyendo la secreción de orina por parte de los riñones aumentando su concentración y favoreciendo así la reabsorción de agua con el consecuente aumento de la presión arterial. Por tanto, conserva el agua corporal y regula la tonicidad de los líquidos corporales. La secreción de la ADH es regulada por estímulos osmóticos y de volumen, y su principal acción se realiza sobre las células del riñón que son responsables de la reabsorción de agua. Además, la hormona tiene efectos sobre las glándulas sudoríparas disminuyendo la pérdida de agua por transpiración y en el sistema circulatorio la hormona contrae el músculo liso de las paredes de los vasos sanguíneos contribuyendo a aumentar la presión arterial. La ingesta habitual de alcohol causa micción frecuente y copiosa porque el alcohol inhibe la secreción de la ADH, el efecto deshidratante del alcohol puede causar tanto la sed como el dolor de cabeza típicos de una resaca. La secreción puede alterarse por otras causas como, el dolor, el estrés, un traumatismo, la ansiedad, la nicotina y fármacos como la morfina, los tranquilizantes y algunos anestésicos que aumentan su secreción.

GLÁNDULA TIROIDES

La glándula tiroides se ubica en la parte anterior del cuello, delante de la tráquea, por debajo del cartílago cricoides *la nuez de Adán* (figura 12). Tiene forma de mariposa, con dos lóbulos, uno a cada lado, unidos por una zona central que se llama istmo.

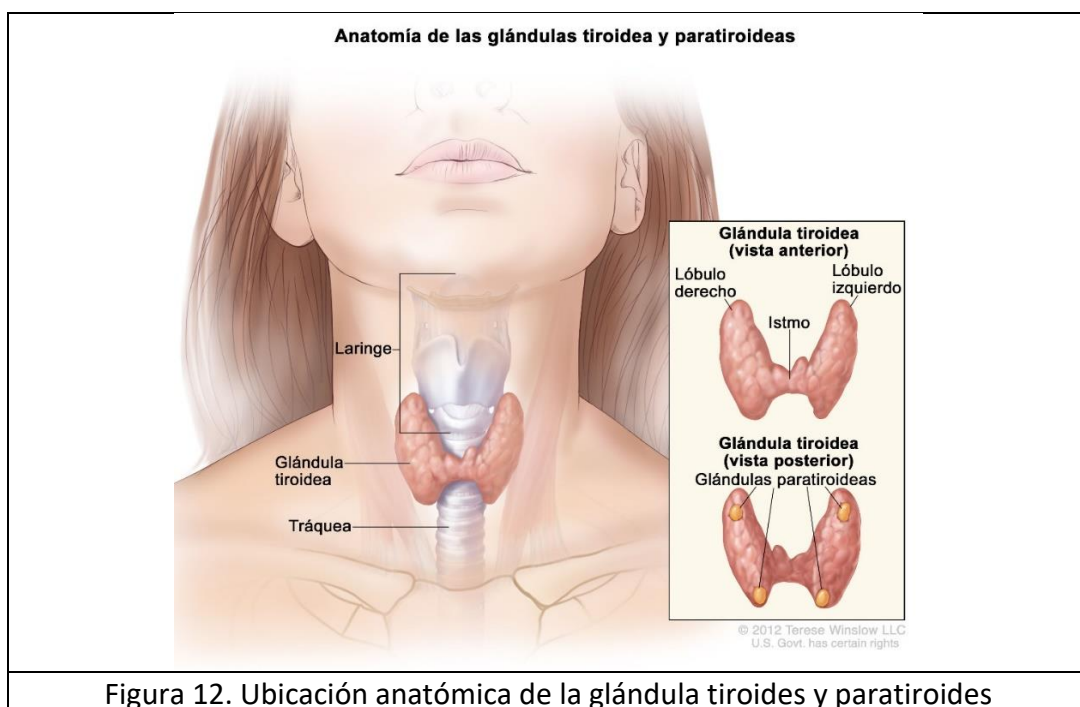


Figura 12. Ubicación anatómica de la glándula tiroides y paratiroides

La función de la glándula tiroides consiste en la elaboración y posterior liberación al torrente sanguíneo de las hormonas tiroideas: **TIROXINA** o **tetrayodotironina (T₄)** y **triyodotironina (T₃)**, las mismas se sintetizan en respuesta a la Hormona Tirotrófina hipofisiaria. Además, la glándula secreta otra hormona, la **CALCITONINA**.

El 90% de la salida hormonal es la **tiroxina o T₄**, mientras el 10% restante es **triyodotironina o T₃**. Como su nombre lo indican las yodotironinas poseen 3 o 4 iones de yodo en su estructura. La glándula captura el yodo circulante proveniente de la dieta y lo utiliza para la síntesis de estas hormonas. Por tanto, el aporte de yodo es necesario para un funcionamiento adecuado de la tiroides y la producción de hormonas tiroideas. El mayor aporte de yodo en la dieta proviene de la sal yodada de mesa, los mariscos y los pescados.

Las hormonas tiroideas poseen acciones muy generalizadas en el organismo. Su principal función es regular la velocidad total del metabolismo corporal, y es crítica para que se verifique un crecimiento y un desarrollo normal. Cumplen funciones importantes durante el desarrollo, interviniendo en la maduración de muchos tejidos, en el sistema nervioso central (SNC), el hueso y el intestino. Además, en el individuo adulto contribuye al mantenimiento de la función de casi todos los tejidos, pero especialmente en el hígado, en el sistema nervioso y en el sistema cardiovascular.

El efecto más notorio de la hormona tiroidea es el aumento del consumo de oxígeno y la producción de calor, estimula y mantiene las actividades metabólicas.

Sobre el crecimiento y el desarrollo: estimula el crecimiento lineal y la maduración de los centros de crecimiento epifisiario del hueso, la progresión regular del desarrollo y erupción de los dientes, y el ciclo normal de crecimiento y maduración de la epidermis y los folículos pilosos.

El desarrollo normal del sistema nervioso central depende críticamente de la hormona tiroidea. Además, aumenta el estado de vigilia, el estado de alerta, la capacidad de responder a estímulos, la memoria y la capacidad de aprendizaje.

La hormona tiroidea tiene al menos un papel permisivo, aunque importante para regular la función reproductiva. El ciclo ovárico normal de desarrollo, la maduración y la ovulación folicular y el proceso homólogo de espermatogénesis que se realiza en los testículos, junto al mantenimiento de un estado de embarazo saludable se ven perturbados por desviaciones significativas de la hormona tiroidea del rango normal.

Resumen de las principales funciones biológicas de las hormonas tiroideas:

- Desarrollo normal del sistema nervioso central y periférico en el feto.
- Funcionamiento normal del sistema nervioso central.
- Regulan el crecimiento regulando el metabolismo óseo.
- Aumentan el consumo de oxígeno estimulando la respiración celular.
- Poseen acción calorigénica y termorreguladora.
- Permiten la relajación muscular.
- Estimulan la síntesis de proteínas y la degradación de los lípidos.
- Aumentan la utilización de glucosa y ácidos grasos para la producción de ATP.
- Intervienen en los procesos de la contracción muscular y motilidad intestinal.
- Participan en la regulación de la función reproductiva.

La importancia de la función tiroidea en la actividad psíquica se destaca tanto en la bibliografía endocrinológica como en la psiquiátrica. El conocimiento de la implicancia psiquiátrica del eje tiroideo es de interés para comprender los componentes biológicos de diferentes entidades clínicas. Algunas características que presentan las personas con una disfunción en la glándula tiroides son de importancia, ya que es posible confundir estos cuadros con alteraciones psiquiátricas o psicoemocionales.

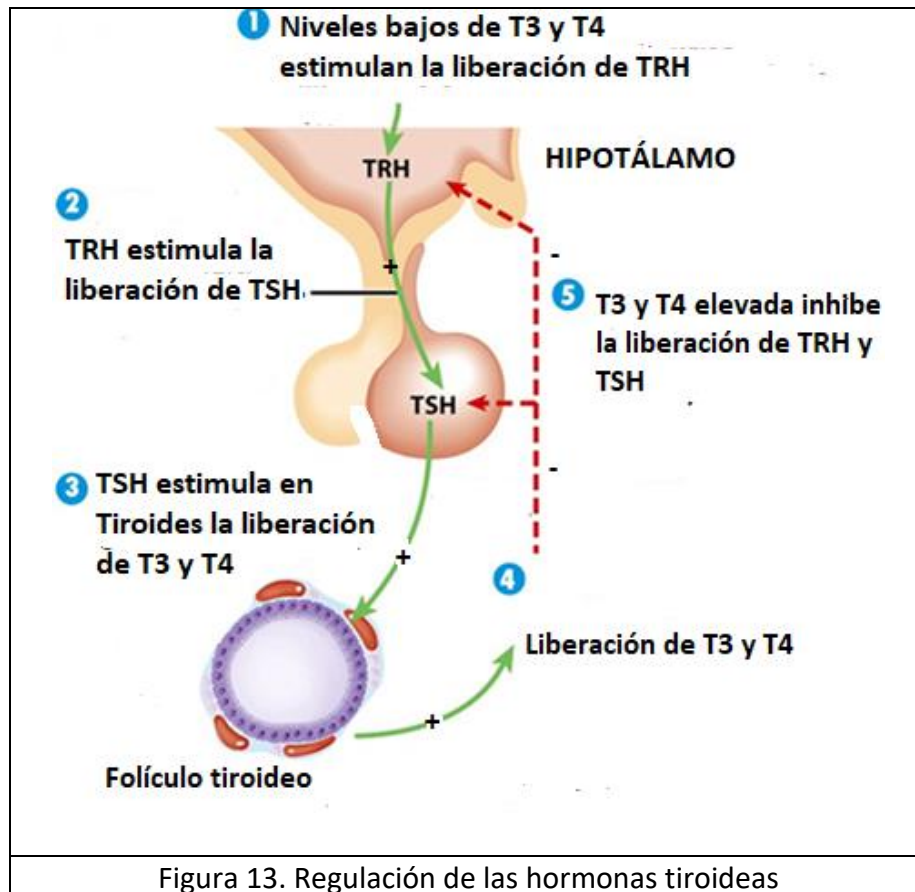
Un aumento en la secreción de la tiroides o hipertiroidismo presenta síntomas como adelgazamiento, nerviosidad, sensación de calor, inquietud, temblores, palpitaciones, insomnio, sudoración, entre otros. Este cuadro puede confundirse con: un síndrome maníaco, un síndrome de excitabilidad motora o con inestabilidad emocional.

La disminución de la secreción de las hormonas tiroideas o hipotiroidismo, se presenta con obesidad, somnolencia, piel seca y fría, pulso enlentecido, amnesia, disminución de la libido, lentitud psíquica, disminución de la ideación, amnesia, entre otros. Este cuadro puede confundirse con una depresión, pues no siempre las personas presentan los síntomas completos, y pueden inducir a error en el diagnóstico y en el tratamiento.

El cuadro de hipotiroidismo neonatal o congénito (cretinismo) afecta el desarrollo, particularmente de las células del cerebro, si no es tratado a tiempo provoca retardo mental y enanismo, que se revierte con un diagnóstico y tratamiento adecuado. Existe una forma sencilla de determinación de esta deficiencia al nacimiento, en la que extrayendo sangre con sólo un pinchazo en el talón a pocos días del nacimiento es posible realizar un estudio y detectar la anomalía. En nuestro país la ley Nro. 26279 regula la obligatoriedad de la detección en el nacimiento de esta y otras patologías congénitas.

Regulación de la secreción de T3 y T4: El Factor de Liberación de Tirotrófina (TRH) del hipotálamo y la hormona Tirotrófina (TSH) de la Hipófisis anterior estimulan la síntesis y liberación de las hormonas tiroideas (T3 y T4) (Figura 13).

1. Los niveles bajos en sangre de T3 y T4 o un metabolismo basal bajo estimulan al hipotálamo para secretar TRH.
2. La TRH estimula a la hipófisis anterior para secretar TSH.
3. La TSH estimula a las células de los folículos de la glándula tiroides para la síntesis y secreción hormonal de T3 y T4.
4. Las células del folículo liberan T3 y T4 a la sangre hasta que índice metabólico regresa a la normalidad.
5. El nivel mínimamente elevado de T3 y T4 inhibe la liberación de TRH y TSH al unirse a los receptores específicos del hipotálamo y la hipófisis mediante un mecanismo de retroalimentación negativa o feed back (figura 13).

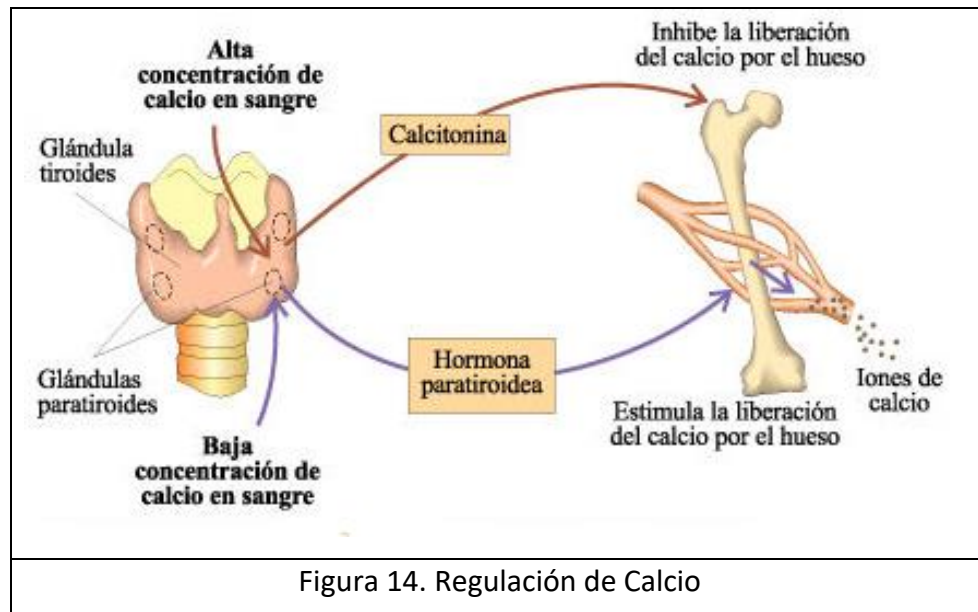


Otra hormona producida por la glándula tiroides es la **calcitonina**, una hormona de naturaleza proteica que interviene en el metabolismo del calcio y del fósforo, su función se basa en la reducción de las unidades de calcio sanguíneo (Ca^{+2}), oponiéndose a la acción de la hormona paratiroides secretada por las glándulas paratiroides.

Específicamente la calcitonina **reduce los niveles sanguíneos de calcio de tres formas: disminuye la absorción intestinal, disminuye la resorción ósea e incrementa la excreción de calcio a través de los riñones**. La regulación de esta hormona depende de los niveles de calcio circulante (figura 14).

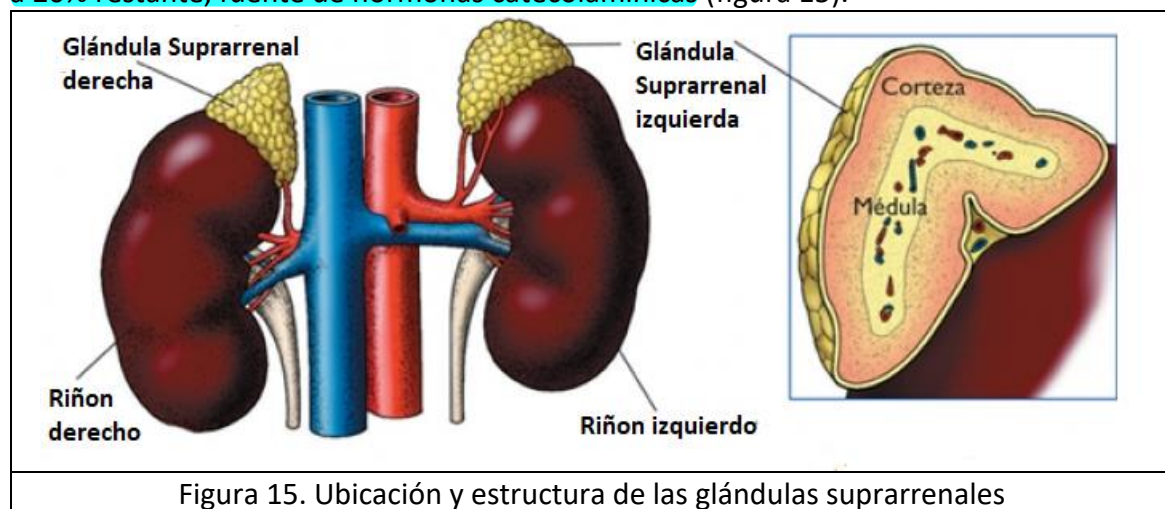
GLÁNDULAS PARATIROIDES

Las glándulas paratiroides, ubicadas detrás de la glándula tiroides, elabora y secreta la **hormona paratiroidea o parathormona**, interviniendo en la regulación de la concentración de calcio en sangre, el efecto principal es aumentar o sostener el calcio en sangre. Lo cual se lleva a cabo ocasionando una entrada de calcio al torrente sanguíneo a partir del tracto gastrointestinal, los huesos y la orina en formación (figura 14).



GLÁNDULAS SUPRARRENALES

Las glándulas suprarrenales o adrenales están ubicadas por encima de los riñones, son órganos complejos y multifuncionales esenciales para la vida (Figura 15). Están compuestas por dos zonas de diferente estructura y función: la **corteza suprarrenal** (externa), que comprende un 80-90%, fuente de hormonas esteroideas, y la **médula suprarrenal** (interna), 10 a 20% restante, fuente de hormonas catecolamínicas (figura 15).



Corteza suprarrenal

Forma la capa externa de la glándula y es fuente de varias hormonas esteroideas: glucocorticoides, mineralocorticoides y andrógenos sexuales.

Glucocorticoides: Incluyen **cortisol**, **corticosterona** y **cortisona**, de estas tres hormonas el **cortisol** es el más abundante y se le atribuye alrededor del 95 % de la actividad

glucocorticoidea. Son hormonas indispensables para la vida por sus efectos sobre el metabolismo de los hidratos de carbono y de las proteínas. Promueven la formación de glucosa a partir de proteínas y lípidos. Disminuye la utilización de la glucosa por la mayoría de las células, con las notables excepciones de las células cerebro y del corazón, favoreciendo de tal manera las actividades de estos órganos vitales a expensas de otras funciones corporales.

Poseen efectos sobre el sistema nervioso central, regulan los factores de crecimiento neuronal y las podas sinápticas. Mantiene los procesos activos de supervivencia neuronal. En condiciones fisiológicas normales estimulan la cognición y poseen acción conductual y neurofisiológicas. Sus efectos conductuales se evidencian ante aumentos crónicos de glucocorticoides en sangre produciendo depresión y apatía. Su liberación se incrementa durante las situaciones de estrés, como el enfrentar situaciones nuevas, al intervenir en una competencia atlética o al rendir exámenes finales. Estas hormonas se relacionan con la actividad del sistema nervioso simpático.

Los glucocorticoides regulan la función inmunológica suprimiendo las respuestas inflamatorias e inmunes. En las situaciones de estrés prolongado un aumento de cortisol es un factor importante en el aumento de la susceptibilidad a la enfermedad (Se analizará en Psicobiología del estrés).

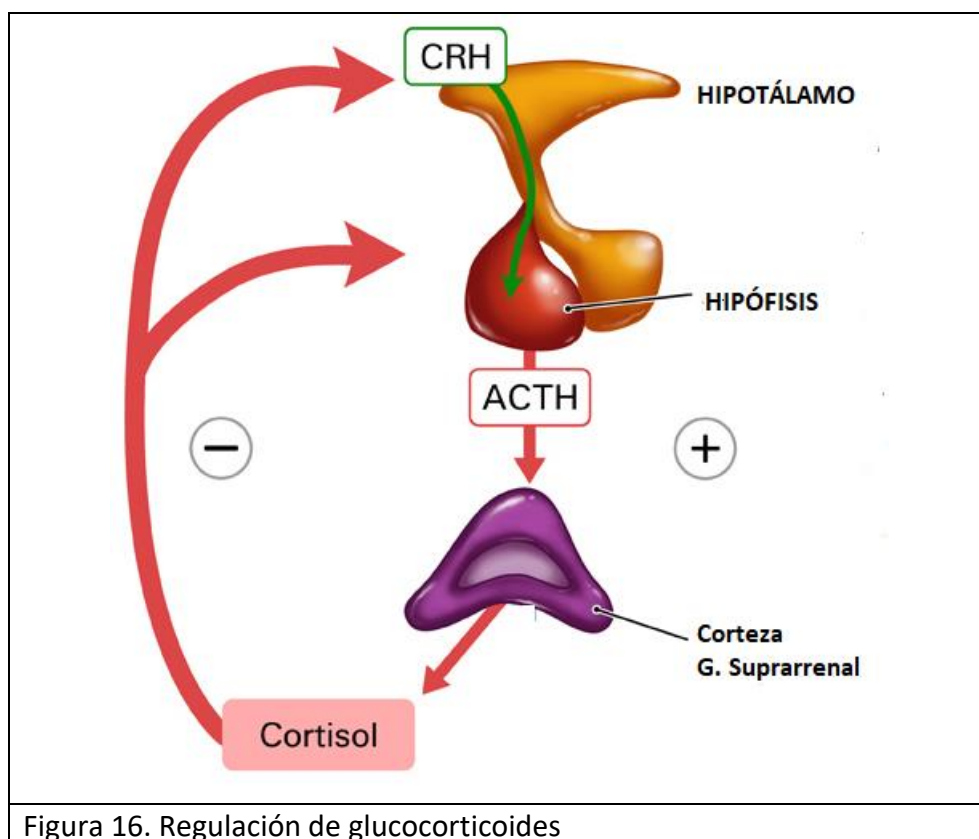


Figura 16. Regulación de glucocorticoides

El control de la secreción de los glucocorticoides se produce a través de un sistema de retroalimentación negativa (figura 16). Los niveles bajos de glucocorticoides, principalmente **cortisol**, estimulan a las células neurosecretoras del hipotálamo a secretar el Factor Liberador de Adenocorticotrofina (CRH). Este promueve la liberación de la Hormona Adrenocorticotrofina (ACTH) por la Adenohipófisis. La ACTH estimula a la corteza suprarenal

a secretar cortisol. Cuando la concentración de cortisol aumenta mínimamente por encima de los valores de referencia, el **cortisol** por **retroalimentación negativa** inhibe la producción de ACTH por parte de la hipófisis y del Factor de Liberación de ACTH por parte del hipotálamo hasta que el cortisol disminuye su concentración a los valores normales.

Mineralocorticoides: La hormona **aldosterona** es el principal mineralocorticoide, regula la homeostasis de dos iones el sodio (Na^+) y el potasio (K^+) y contribuye a regular la presión y el volumen sanguíneo, la cual es de importancia vital para mantener el balance de sodio y potasio.

Andrógenos: En todas las personas la corteza suprarrenal produce pequeñas cantidades de **hormonas sexuales masculinas** (andrógenos) Un tumor suprarrenal puede dar como resultado un aumento en la producción de estas hormonas y en consecuencia la producción de pelos faciales y otras características masculinas en las personas con ovarios. La corteza suprarrenal secreta además pequeñas cantidades de **hormonas sexuales femeninas**.

Médula suprarrenal

Es la porción central de la glándula suprarrenal, constituye una acumulación de células neurosecretoras cuyas terminaciones nerviosas son la fuente de las denominadas catecolaminas: **adrenalina** y **noradrenalina** que son vertidas al torrente sanguíneo. Estas hormonas poseen diversos efectos sobre el metabolismo. Su secreción forma parte integral de la reacción *lucha o huida*.

De esta manera, la percepción o anticipación del peligro o daño, traumatismos, dolor, hemorragia, anoxia, extremos de temperatura, ejercicio severo, ocasionan una rápida secreción de catecolaminas a partir de la médula suprarrenal.

Estas hormonas incrementan la frecuencia y la fuerza del latido cardíaco, elevan la presión sanguínea, estimulan la respiración y dilatan las vías respiratorias. También incrementan la cantidad de glucosa en sangre, favoreciendo su utilización por parte de las células.

La médula suprarrenal es estimulada por fibras nerviosas de la división simpática del sistema nervioso autónomo y de esta forma actúa como un reforzador de la función simpática. La secreción endocrina de la médula suprarrenal suplementa la actividad nerviosa del simpático.

Las hormonas producidas por la médula suprarrenal son químicamente idénticas a los neurotransmisores de igual nombre que son producidos en el sistema nervioso, uno de los hechos que apoya la evidencia de un sistema regulador unificado.

PÁNCREAS ENDÓCRINO

La **insulina** y el **glucagón** son las hormonas liberadas por el páncreas endócrino. La insulina fue la primera hormona aislada y estudiada. La insulina es secretada en respuesta a un incremento en el azúcar o en la concentración de aminoácidos en la sangre (como ocurre

después de una comida). **Disminuye el azúcar en la sangre, estimulando la utilización por parte de las células y promueve su almacenamiento.**

Cuando hay una deficiencia de insulina, como ocurre en personas con diabetes mellitus, la concentración de azúcar en la sangre incrementa tanto que no toda la glucosa que entra al riñón puede ser reabsorbida; la presencia de glucosa en la orina forma parte de las pruebas simples de diabetes. La pérdida de glucosa está acompañada por pérdida de agua. La deshidratación resultante, que puede llevar a un colapso de la circulación, es una de las causas de muerte de un diabético no tratado.

El glucagón, en contraste a la insulina, se segrega en respuesta a la falta de glucosa y actúa incrementando los niveles de glucosa circulante.

Metabolismo de glucosa

Varias hormonas intervienen en la regulación del azúcar en la sangre: **la hormona del crecimiento, el cortisol, la adrenalina, la noradrenalina, la insulina y el glucagón**. El estricto control ejercido sobre la glucosa sanguínea asegura que haya siempre glucosa disponible para las células del cerebro.

A diferencia de otras células del cuerpo, que pueden utilizar energía de la degradación de aminoácidos y grasas, las células cerebrales pueden utilizar únicamente glucosa en la mayoría de las circunstancias. Por ello son inmediatamente afectadas por un bajo nivel de azúcar en sangre.

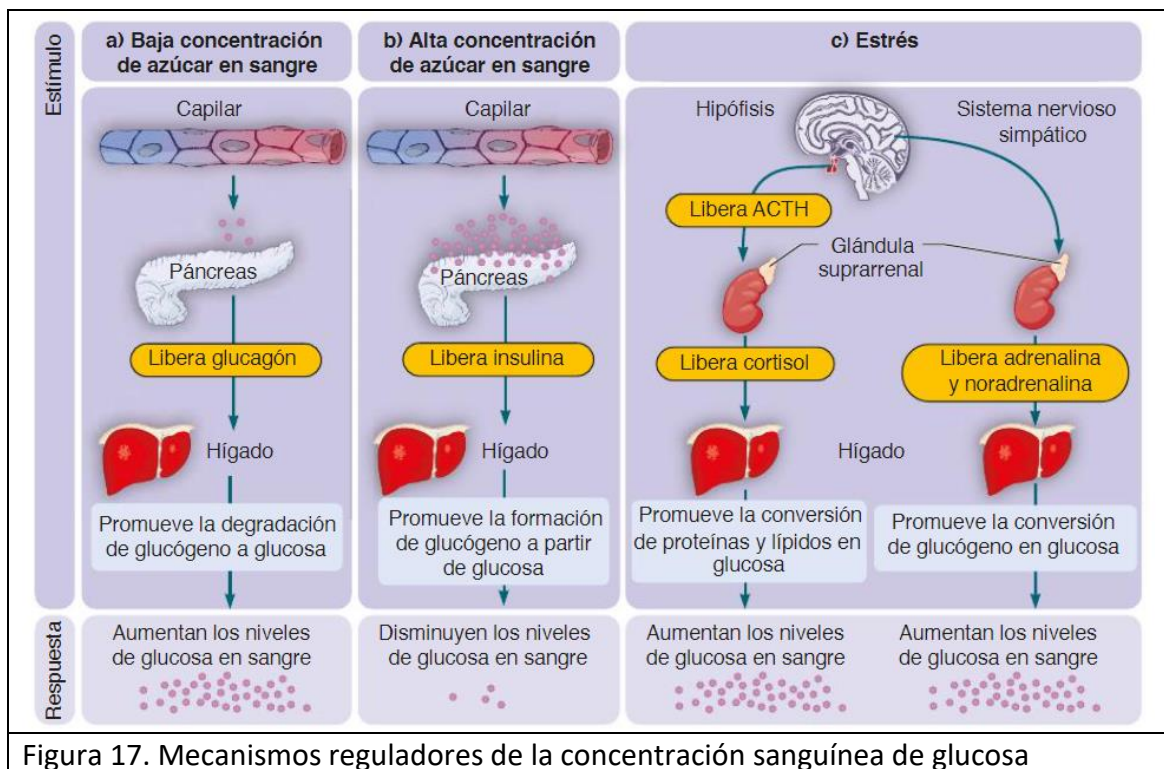


Figura 17. Mecanismos reguladores de la concentración sanguínea de glucosa

En la figura 17 se esquematizan los mecanismos reguladores de la concentración sanguínea de glucosa:

(a) Cuando la concentración de glucosa en sangre es **baja**, el páncreas produce **glucagón**, que estimula el desdoblamiento del glucógeno y la salida de glucosa del hígado.

(b) Cuando la concentración de glucosa es **alta**, el páncreas produce **insulina**, que produce la retirada de glucosa de la circulación sanguínea, al estimular la absorción por las células y la conversión de glucógeno en el hígado, la forma de reserva de glucosa.

(c) En condiciones de tensión y peligro, la hormona Adrenocorticotrofina (ACTH), producida por la hipófisis anterior, estimula a la corteza de la glándula suprarrenal para aumentar la secreción de **cortisol**. Esta hormona acelera la degradación de proteínas y su conversión en glucosa, en el hígado. Al mismo tiempo, la estimulación de la médula suprarrenal por las fibras nerviosas del sistema nervioso autónomo simpático produce la liberación en sangre de **adrenalina y noradrenalina**, que también **aumentan** la concentración de glucosa en sangre.

La **hormona del crecimiento**, que no se representa en el esquema, también interviene en el metabolismo de la glucosa, inhibiendo la absorción y la oxidación de la glucosa por varios tipos de tejidos y estimula, en cambio, la degradación de las grasas. La multiplicidad de mecanismos reguladores de la concentración sanguínea de glucosa asegura que la misma siempre esté en cantidades suficientes para las células nerviosas.

GLÁNDULA PINEAL

Esta glándula es un pequeño órgano ubicado cerca del centro del cerebro, justo por debajo del cuerpo calloso (figura 18). Secreta la hormona **melatonina**. En muchas especies, incluida el ser humano, la producción de melatonina se incrementa abruptamente durante la noche, la glándula funciona como un cronómetro biológico que responde a los ciclos de luz-oscuridad (se analizará en TP. Ritmos biológicos). En los seres humanos, la glándula pineal puede estar implicada también en la maduración sexual.

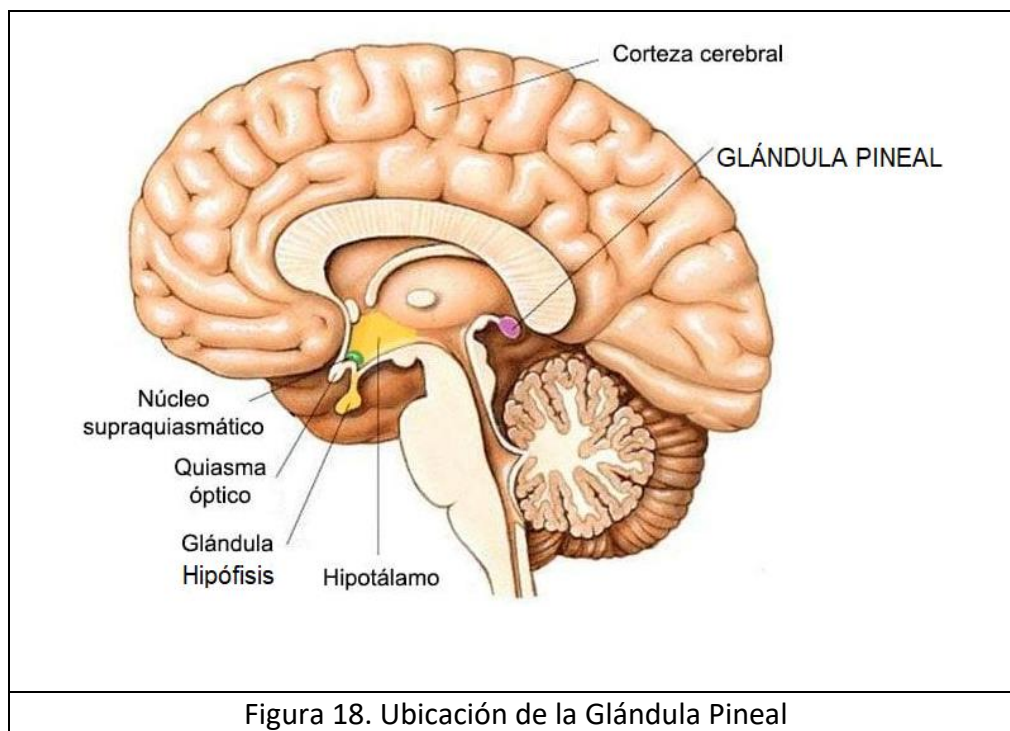


Figura 18. Ubicación de la Glándula Pineal

La actividad de la glándula pineal depende de las condiciones lumínicas, la luz inhibe la producción de melatonina mientras que la oscuridad la aumenta. Por tanto, la concentración en sangre de melatonina es alta durante la noche y baja durante el día.

La retina es la entrada de la información lumínica, desde allí la información lumínica llega a la pineal mediante un circuito neural en el que participan el nervio óptico, el núcleo supraquiasmático del hipotálamo y el ganglio cervical superior.

Funciones de la hormona melatonina: promotora del inicio del sueño, regulación de los ritmos biológicos, regulación neuroinmunológica, actividad oncostática y antioxidante, entre otras.

GLÁNDULAS SEXUALES O GÓNADAS

Los sistemas reproductores poseen una estructura básica similar. Están compuestos por un par de glándulas sexuales o gónadas de secreción mixta (los ovarios y los testículos) donde se producen las gametas o células sexuales (óvulos y espermatozoides).

Además del par de gónadas los sistemas reproductores están conformados por estructuras específicas que intervienen en el acto sexual, por conductos donde transitan las gametas y por glándulas anexas. La reproducción humana se realiza por fecundación interna y su éxito depende de la acción coordinada de las hormonas, el sistema nervioso y el sistema reproductivo. Este tipo de reproducción se denomina sexual e implica dos procesos: la meiosis y la fecundación.

La meiosis, es el proceso de división celular que origina gametas (células sexuales), las únicas células haploides (23 cromosomas) del ciclo biológico. Se originan en las gónadas de los individuos, ovario y testículo. Las gametas masculinas o espermatozoides se especializan para poder desplazarse y las gametas femeninas u óvulos para acumular sustancias nutritivas. En el momento de la fecundación queda constituido un nuevo individuo, que habrá de presentar los caracteres hereditarios que le son transmitidos por los genes de los cromosomas maternos y paternos.

ANATOMÍA Y FISIOLOGÍA DEL APARATO REPRODUCTOR PRODUCTOR DE OVOCITOS

Características anatómicas generales: Los órganos del aparato reproductor comprenden los **ovarios** (gónadas), las **trompas de Falopio**, el **útero**, la **vagina** y los genitales externos, llamados en conjunto **vulva** (figura 19).

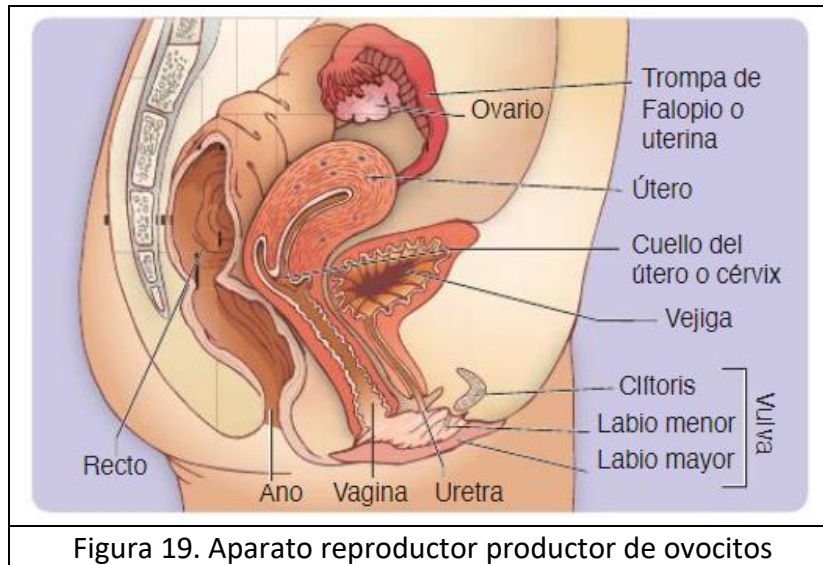


Figura 19. Aparato reproductor productor de ovocitos

Los **ovarios**, las **trompas de Falopio**, el **útero** y la **vagina** se encuentran ubicados en la pelvis, estas estructuras están rodeadas por el aparato ligamentoso y neurovascular que le proporcionan nutrición, sostén e innervación.

Ovarios: son dos órganos ovoides de 3 a 4 cm, blancuzcos y de consistencia firme, ubicados en la pelvis por debajo de las Trompas de Falopio (Figura 20). Son glándulas mixtas, producen gametas, ovocitos secundarios que se liberan a las trompas de Falopio y se desarrollan hasta formar el óvulo durante la fecundación y producen y secretan hormonas sexuales que se vierten al torrente sanguíneo.

Debido a su carácter de **glándulas mixtas**, los ovarios cumplen simultáneamente distintas funciones, las que se pueden clasificar en:

- a) Generativas:** que comprenden la maduración y expulsión de ovocito secundario y la estimulación progestacional del aparato genital.
- b) Vegetativas:** que comprenden la estimulación trófica del resto del aparato genital (trompas, útero, vagina y vulva), función que precede y acompaña a la anterior.
- c) Somática:** estimulan los caracteres sexuales secundarios (mamas, esqueleto, piel, sistema piloso, tejido subcutáneo, laringe, sistema neuroendócrino, entre otras.)

Trompas de Falopio: Son dos conductos musculares huecos de aproximadamente 10 cm de extensión. Comienzan en los ángulos superiores del útero y terminan cerca de los ovarios, en una estructura con forma de embudo denominada *pabellón de la trompa o tubario*, que posee prolongaciones digitiformes: las *fimbrias* (figura 20).

El movimiento de las fimbrias capta al ovocito liberado por el ovario para ser transportado, mediante movimientos peristálticos, a través de las trompas. En el tercio externo de esta última estructura es donde puede producirse la fecundación.

Útero: Es un órgano hueco, de paredes musculares. En el organismo adulto posee una longitud aproximada de 7 a 8 cm, tiene forma de pera invertida (Figura 20). Su función es recibir al huevo o cigoto, albergar al feto durante la gestación y expulsarlo en el momento del parto.

Anatómicamente se lo puede dividir en tres secciones: **cuerpo, cuello e istmo**.

El cuerpo del útero es de forma triangular con la base hacia arriba y de unos 7 cm de longitud, es la parte superior del útero y es donde se alojará el feto. El cuello, de 3 a 3,5 cm de longitud, es la parte del útero que protruye en la vagina, presenta un orificio que sirve de entrada de los espermatozoides al útero y de salida del flujo menstrual. Posee glándulas productoras de mucus.

El istmo es la porción estrechada del útero que se encuentra entre el cuerpo y el cuello.

Histológicamente, las paredes del útero están compuestas por una capa interna, el **endometrio**; una capa media, el **miometrio**; y otra externa, el perimetrio. En el endometrio se implanta el óvulo fecundado, para ello prolifera y aumenta su vascularización cada veintiocho días, debido a la acción de los estrógenos (hormonas sexuales producidas por el ovario). Cuando el óvulo no es fecundado, y por lo tanto no se implanta en el útero, el endometrio se desprende formando el flujo menstrual.

El miometrio, responsable de las contracciones uterinas, es importante en el orgasmo y en el parto. Es una capa muy elástica, lo que permite al útero que aumente varias veces su tamaño para dar cabida al feto.

Vagina: Es el órgano receptivo para el pene durante el coito y también el canal de parto. La vagina es un tubo muscular de paredes elásticas que se comunica por un lado con el cuello del útero y por su extremo inferior con el exterior terminando en el orificio vaginal. El interior de la vagina no se mantiene como un cilindro ahuecado, la luz del mismo es virtual y sus paredes están en contacto. El orificio vaginal puede encontrarse parcialmente cerrado por un fino repliegue de este tubo, el himen. La abertura y elasticidad del himen pueden variar en cada persona.

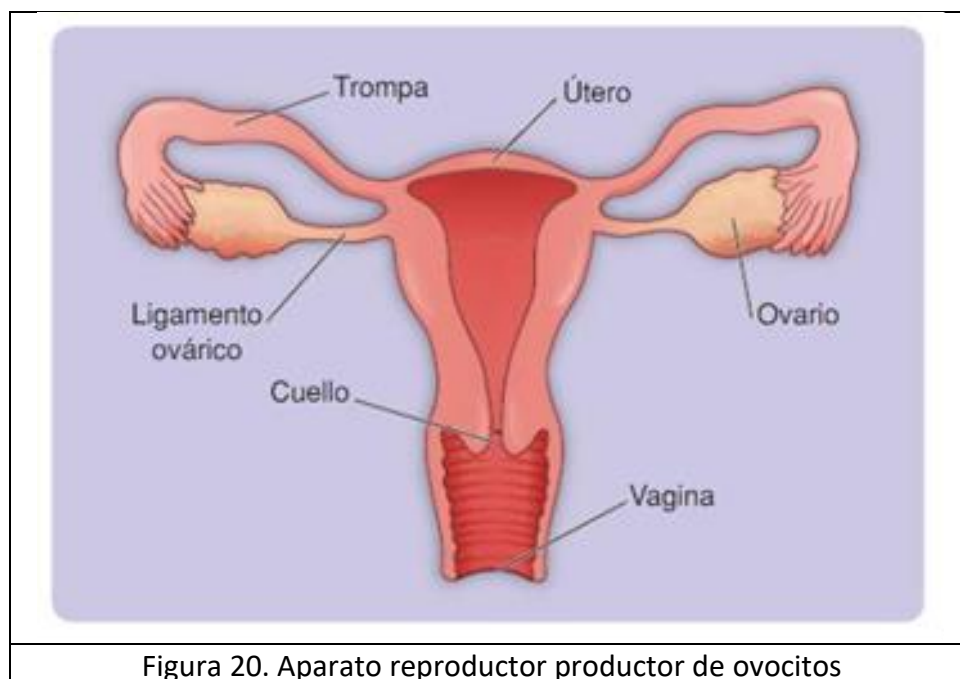


Figura 20. Aparato reproductor productor de ovocitos

Genitales externos: VULVA

Los órganos genitales externos en este sistema reproductor se conocen en conjunto como vulva (figura 21).

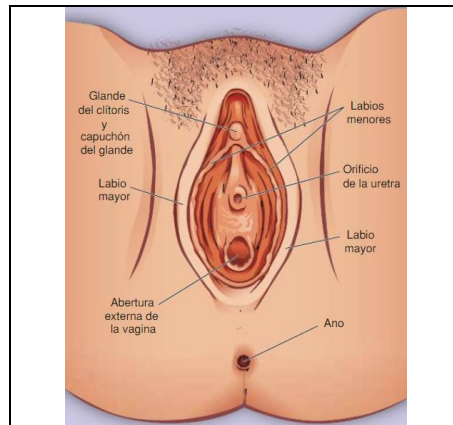


Figura 21 Órganos genitales externos

Está compuesta por los labios mayores o externos, los labios menores o internos, el clítoris y el capuchón del mismo. Limita hacia adelante con la pared abdominal anterior, hacia atrás se continúa con el peritoneo y hacia los costados llega hasta la cara interna de los muslos. Los labios mayores son dos pliegues delgados, carnosos y recubiertos de piel provista de vellos y glándulas sebáceas, que se extienden hacia atrás y abajo, encerrando la abertura de la uretra y la vagina, y uniéndose detrás de ella.

Los labios menores, o internos, son delgados pliegues de color rosado, desprovistos de vello y ricamente vascularizados; se ubican por detrás de los labios mayores. Sus extremidades superiores, al unirse forman el frenillo y el capuchón del clítoris. Tanto los labios mayores como los menores son sensibles al tacto, pero los menores responden con mayor intensidad y rapidez a la excitación. El clítoris es una pequeña prominencia carnosa y eréctil situada en el ángulo formado por la unión anterior de los labios. Se compone de dos pequeños cuerpos cavernosos constituidos por lechos vasculares y finaliza en una cabeza o glande, su tamaño puede variar. Lo recubre parcialmente un repliegue denominado clitorideo análogo al prepucio del pene. Es un centro de excitación sexual; actúa como receptor de los estímulos sexuales por la riqueza de terminaciones nerviosas que le proporcionan mayor sensibilidad. El Monte de Venus es una saliente redondeada situada por delante de la sínfisis pubiana, formada por tejido adiposo que se recubre de vello en la pubertad.

Glándulas bulbovaginales o de Bartholin: Son dos pequeñas glándulas exócrinas del tamaño de una almendra situadas a cada lado del orificio vaginal. Segregan un líquido lubricante durante la fase de excitación. Las mismas alcanzan su mayor desarrollo durante la pubertad.

OVOGÉNESIS, DESARROLLO FOLICULAR Y TRAYECTO DEL OVOCITO

La formación de los gametos en los ovarios se denomina **ovogénesis**, recordaremos lo analizado en el TP de división celular, en el tema meiosis (Figura 22).

Durante el desarrollo fetal temprano las células germinales se diferencian en los ovarios en **ovogonias**, estas son células madre ($2n$) que se dividen por mitosis para producir millones de células germinativas. Antes del nacimiento la mayor parte de estas células degeneran por un proceso denominado atresia. Algunas, sin embargo, durante el tercer mes del desarrollo

fetal se desarrollan hasta formar células de mayor tamaño llamados **ovocitos primarios** que entran en la profase de la **primera división meiótica o meiosis I**. Cada ovocito primario está rodeado por una capa de células epiteliales planas y la estructura completa se denomina **folículo primordial**. Los ovocitos, en número de dos millones al momento del nacimiento, permanecerán detenidos en la profase de **meiosis I** hasta la etapa de la pubertad.

Durante la pubertad, por influencia de las hormonas gonadotróficas de la hipófisis se reanuda la primera división meiótica, a través de la cual cada ovocito primario produce un ovocito secundario y un cuerpo polar, completándose este proceso alrededor del momento de la ovulación (liberación del ovocito secundario desde el ovario hacia las trompas de Falopio).

De los dos millones de ovocitos primarios originales sólo entre 300 y 400 alcanzarán la madurez, habitualmente uno a la vez, aproximadamente cada 28-30 días desde la pubertad hasta la menopausia. Esto indica que pueden pasar más de 50 años entre el comienzo y el final de la primera división meiótica en un ovocito dado.

La maduración de un ovocito primario implica la reanudación de la meiosis, como así también un gran incremento de tamaño. Este incremento de tamaño refleja la gran acumulación de reservas alimenticias y de la maquinaria metabólica requerida para las etapas tempranas del desarrollo.

Cuando un **ovocito primario** está listo para completar la meiosis la envoltura nuclear se fragmenta y los cromosomas se mueven hacia la superficie de la célula y el citoplasma forma una pequeña protuberancia. Una dotación cromosómica migra hacia el interior de esta protuberancia, que luego se estrangula formando un cuerpo polar primario que contiene escaso citoplasma. El resto del material citoplasmático y genético forma el ovocito secundario, de gran tamaño.

La **segunda división meiótica**, que a partir de un **ovocito secundario** producirá un óvulo y un cuerpo polar secundario, no se produce sino hasta poco después de la fecundación.

Como consecuencia de estas divisiones celulares desiguales, la mayoría de las reservas alimenticias pasan a un único óvulo.

Los ovocitos se desarrollan cerca de la superficie del ovario. Un ovocito y las células especializadas que lo rodean se conocen con el nombre de **folículo ovárico**. Las células del folículo ovárico suministran nutrientes al ovocito en crecimiento y también secretan **estrógenos** (hormona que inicia el crecimiento del endometrio luego de la menstruación).

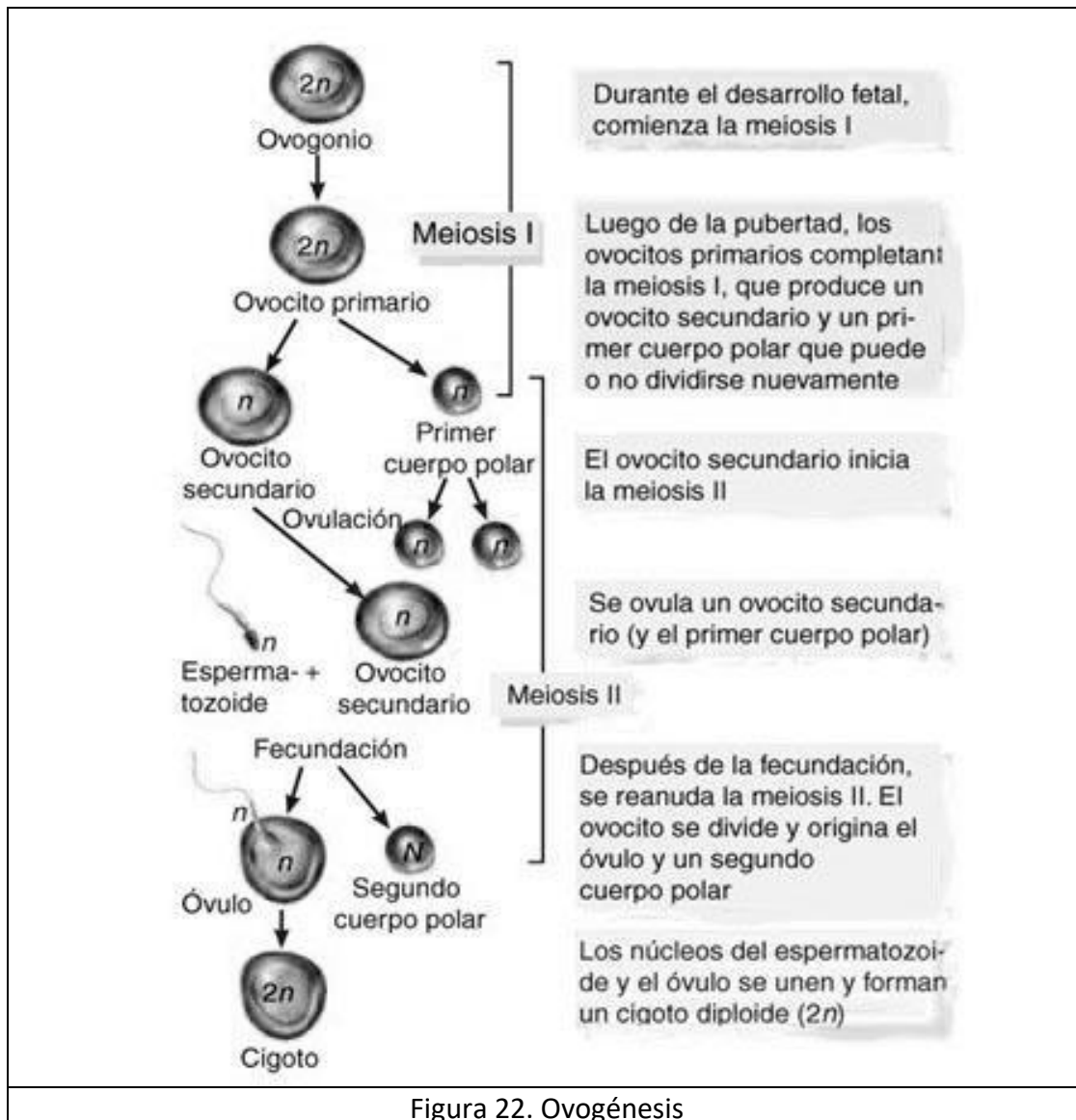


Figura 22. Ovogénesis

El crecimiento y desarrollo folicular (figura 23.b) pasa por varias etapas. Los **folículos inmaduros** se observan desde la época embrionaria hasta la vida adulta del ovario y constituyen la mayor parte de la población folicular. Estos se transforman en **folículos primarios**, en los cuales el ovocito se encuentra rodeado por varias capas de células de la granulosa y carece de membrana vitelina.

Los **folículos secundarios** se caracterizan por la presencia de un antro (espacio lleno de líquido folicular, situado alrededor del ovocito, el que a su vez desarrolla una membrana, denominada **zona pelúcida**). A medida que el folículo crece, se desplaza hacia la corteza del ovario, mientras el antro se agranda para producir un **folículo maduro o folículo de Graaf**. Este abarca todo el espesor de la corteza y sobresale como una ampolla en la superficie del ovario. Una vez que el antro ha alcanzado su tamaño máximo, estalla produciendo la **ovulación**, es decir, se expulsa al ovocito secundario fuera del ovario.

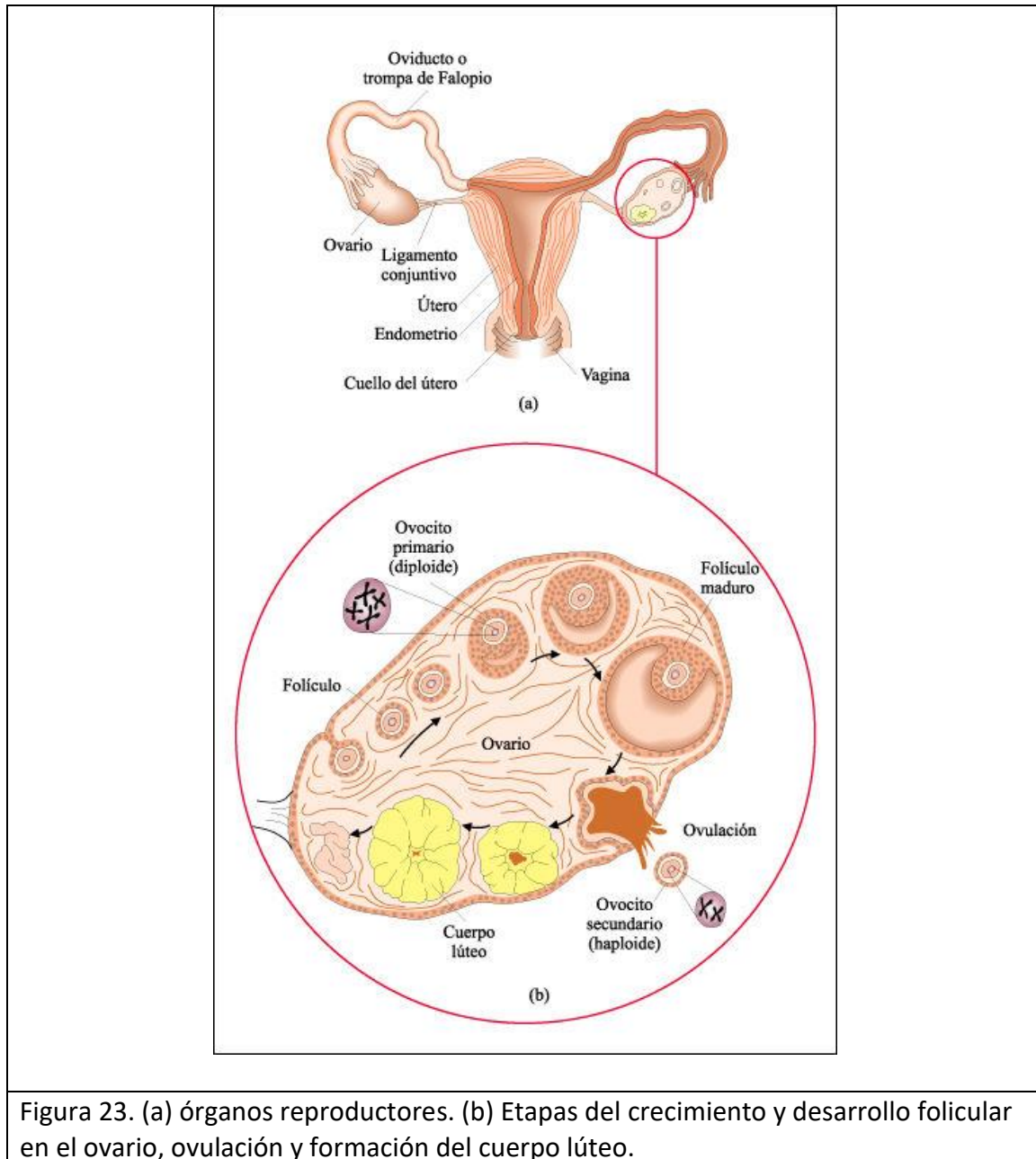


Figura 23. (a) órganos reproductores. (b) Etapas del crecimiento y desarrollo folicular en el ovario, ovulación y formación del cuerpo lúteo.

Además del folículo maduro, el ovario contiene folículos en varias etapas del proceso de degeneración, los *folículos atrésicos*. Esto significa que, habitualmente, varios folículos comienzan a aumentar su tamaño simultáneamente pero solamente uno alcanza la madurez suficiente como para liberar su ovocito secundario y los otros son reabsorbidos.

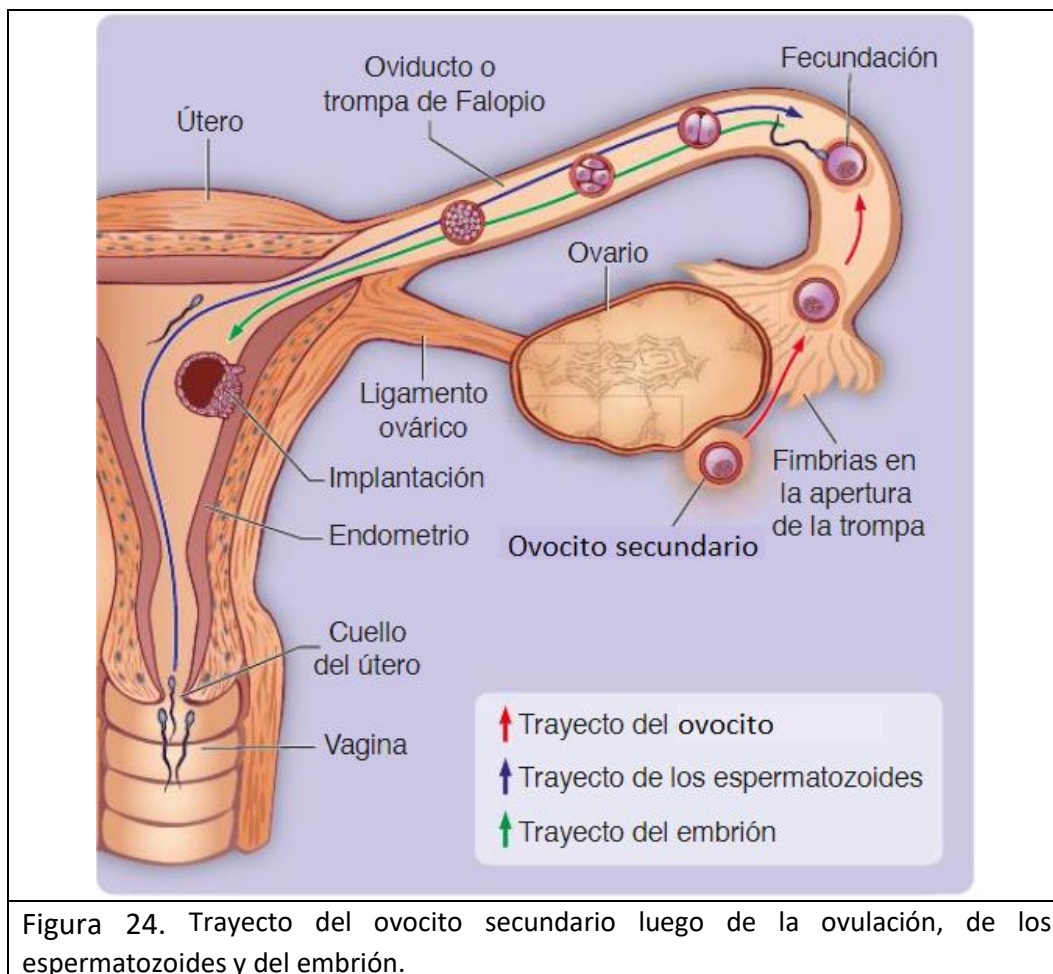
Luego de la ovulación, el folículo que contenía al ovocito secundario queda vacío transformándose en una glándula endócrina temporaria, el **cuerpo lúteo**. Este cambio implica una hipertrofia (aumento en el tamaño) e hiperplasia (aumento en el número) de las células que lo forman, acompañado por el desarrollo de inclusiones lipídicas en el interior celular. La cavidad folicular se llena de sangre que luego es reemplazada por una masa de células luteínicas que comienzan a producir hormonas sexuales, progesterona y estrógeno, la primera en mayor cantidad.

El ovocito secundario liberado a la cavidad abdominal (ovulación) es capturado mediante los movimientos rítmicos de las fimbrias del pabellón de la Trompa de Falopio. Una vez dentro de la trompa el ovocito desciende lentamente, impulsado por los movimientos peristálticos de las paredes musculares de ésta, una vez expulsado del ovario el ovocito tiene posibilidad de ser fecundado durante las siguientes 24 horas, si tiene lugar la fecundación esta se produce por término medio en el tercio externo de la Trompa de Falopio (Figura 24).

Es importante destacar que la meiosis solo se completa si el ovocito secundario es fecundado, es por esta razón que no hablamos de óvulo cuando nos referimos a esta célula, se reserva este término para el gameto que ha completado la meiosis.

Por lo tanto, si el ovocito es penetrado por un espermatozoide, se completa la segunda división meiótica, a través de la cual el ovocito secundario se convierte en un óvulo maduro luego se unen el núcleo del óvulo y del espermatozoide (fecundación), formando el huevo o cigoto, el embrión se implanta en el endometrio uterino, **seis o siete días después de la fecundación** (figura 24).

Si no se produce el embarazo, el cuerpo lúteo **comienza su regresión** entre 7 y 8 días después de la ovulación. Su actividad funcional dura entre 10 y 12 días luego de los cuales es reemplazado por tejido conectivo. Asimismo, si el ovocito no es fecundado, es eliminado o degenera y el endometrio que tapiza el útero se elimina durante la menstruación.



CICLO OVÁRICO Y CICLO UTERINO

La producción de ovocitos es cíclica e implica cambios en las células foliculares del ovario y en las paredes del útero (endometrio), que son regulados por la acción de hormonas.

Estos cambios cíclicos producidos en el ovario y el útero se denominan **ciclo ovárico** y **ciclo uterino** respectivamente y ocurren **simultáneamente**. Este patrón recurrente de cambios en respuesta a niveles hormonales variables se conoce en conjunto como **ciclo sexual o ciclo menstrual**, ya que se halla asociado a las hemorragias vaginales o menstruación que se producen en promedio cada 28 días y que sólo son interrumpidas por el embarazo.

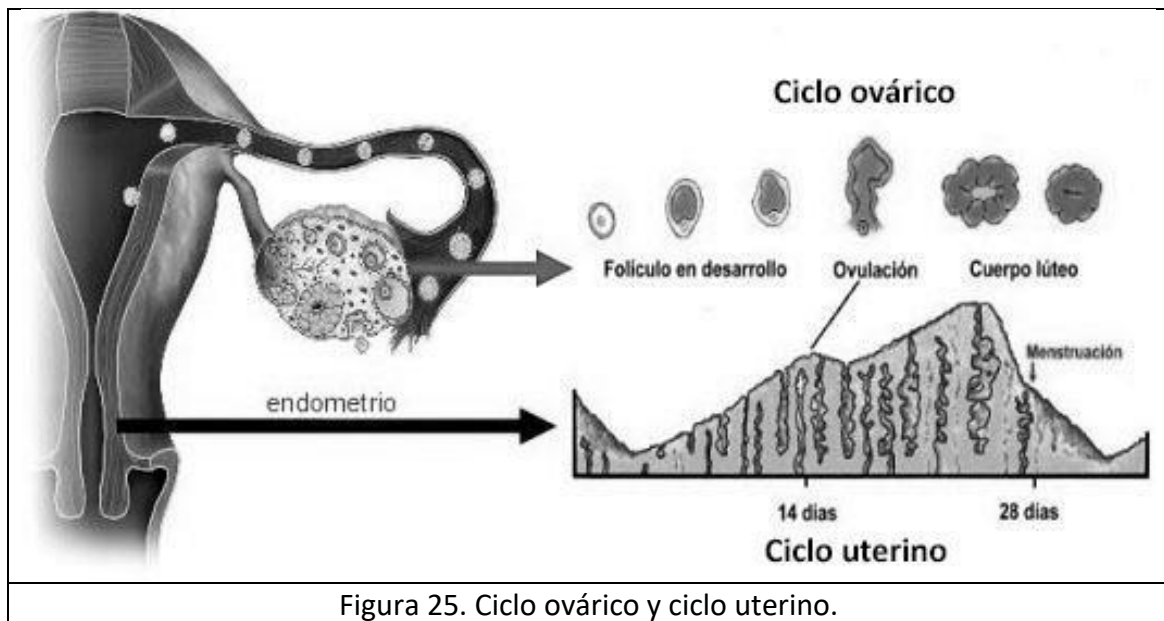


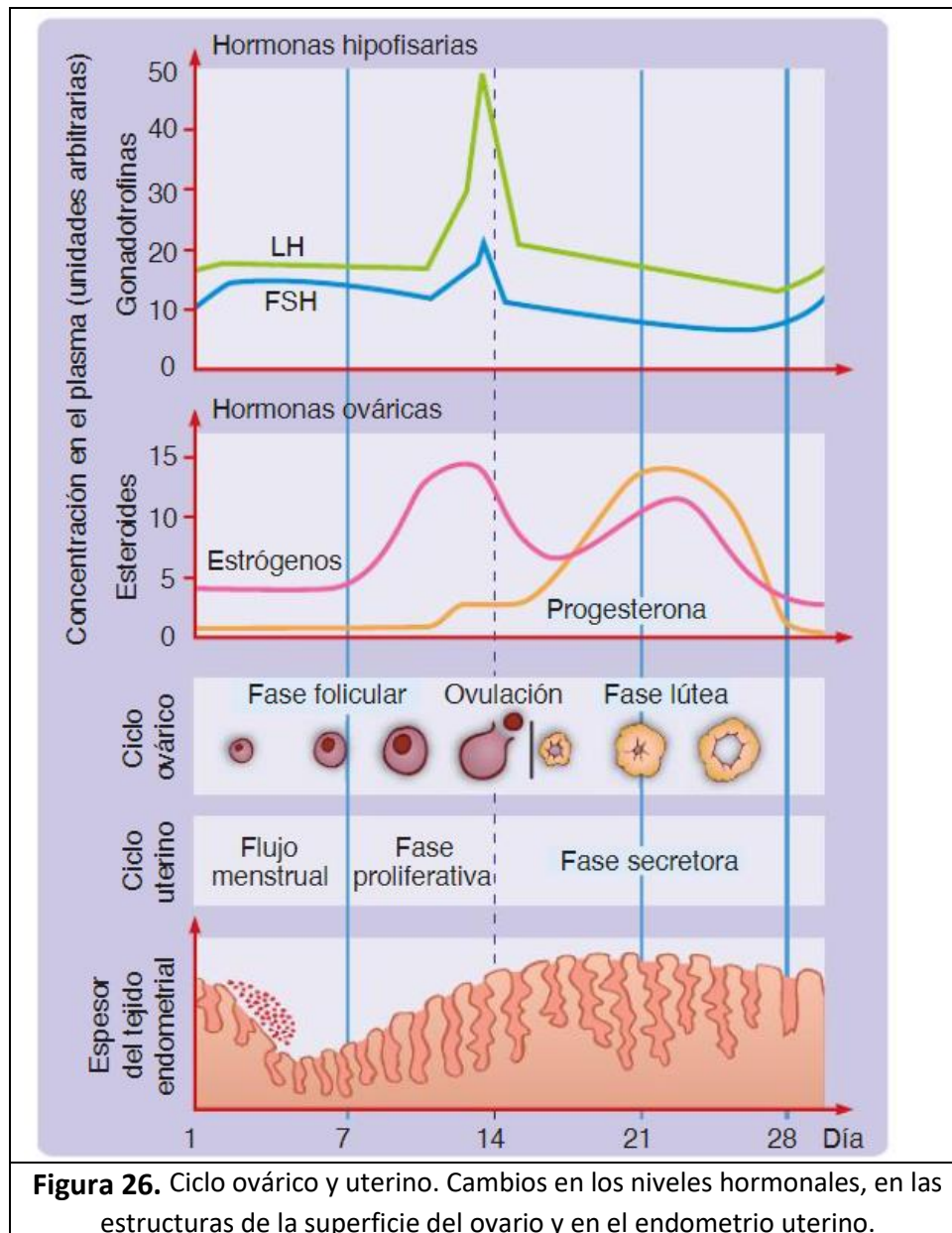
Figura 25. Ciclo ovárico y ciclo uterino.

CICLO OVÁRICO

El ciclo ovárico se divide en dos fases secuenciales, la **fase folicular** que comienza con el inicio de la hemorragia menstrual y culmina con la ovulación, y la **fase luteínica** que posee una duración de 13 a 14 días y termina con el comienzo de la hemorragia menstrual.

Una serie de cambios cíclicos en la producción de hormonas caracteriza la función ovárica en la edad fértil. Si bien este perfil mensual se origina en cambios cíclicos en las **gonadotrofinas hipofisarias**, las hormonas **Foliculoestimulante (FSH) y Luteinizante (LH)**, este patrón de secreción se encuentra críticamente regulado por retroalimentación negativa y positiva por parte de las hormonas ováricas (**estrógeno y progesterona**). En cierto sentido el ciclo ovárico podría verse como una piedra que rueda hacia arriba y hacia abajo sobre una serie de lomas o elevaciones, el impulso derivado de cada fase del ciclo potencia la próxima fase y así hasta el próximo ciclo.

En el comienzo de la fase folicular, el hipotálamo produce Factor de Liberación de Gonadotrofinas (GnRH), que estimula la secreción de las gonadotrofinas FSH y LH que se encuentran en sus niveles más bajos (figura 26).



Luego de transcurrida la primera mitad de la fase folicular, los niveles de FSH y LH se incrementan. El efecto sobre el ovario de la influencia de las gonadotrofinas es el crecimiento de los folículos ováricos, caracterizado por la proliferación de las células de la granulosa que rodean al ovocito. Estas células producen inicialmente bajos niveles de **estrógenos**, que van aumentando a medida que los folículos crecen.

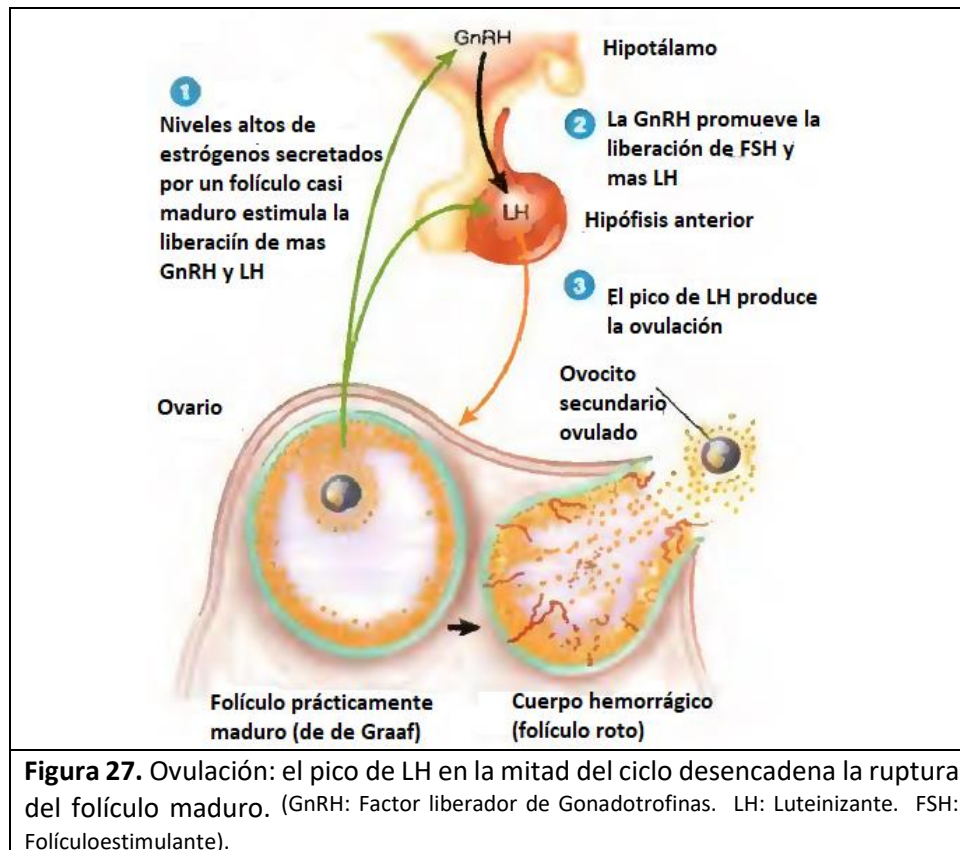
El nivel moderado de los estrógenos producidos por los folículos en crecimiento produce inhibición por retroalimentación negativa del Factor Liberador de Gonadotrofina hipotalámico y de esta forma se inhibe la producción de FSH y LH.

La reducción de los niveles de FSH causa la interrupción del crecimiento de los folículos menos desarrollados e incluso su degeneración, proceso llamado **atresia**, sólo continúa el crecimiento del folículo más desarrollado.

En niveles elevados, los estrógenos producen, a través de un mecanismo de retroalimentación positivo sobre el Factor de Liberación de Gonadotrofina, el incremento de

LH y de FSH. Bajo la influencia de las gonadotrofinas, las células de la granulosa del folículo dominante (el que alcanzó el mayor tamaño durante el crecimiento y que será el que se ovule) producen mayores niveles de estrógeno (pico estrogénico), que desencadena un incremento notable y transitorio de la secreción de LH por la hipófisis y algo menor de FSH.

El efecto del pico de LH consiste en la ruptura del folículo maduro y la consiguiente liberación del ovocito hacia las Trompas de Falopio denominado ovulación (figura 27).



Las células de la granulosa del folículo remanente aumentan de tamaño y llenan la cavidad (luteinización) produciendo el **cuerpo lúteo** o **cuerpo amarillo**.

El tiempo que transcurre desde la formación del cuerpo lúteo hasta su reabsorción constituye la fase luteínica. La característica más distintiva de la fase luteínica es el aumento de **progesterona**, producida por el cuerpo lúteo, bajo la influencia de la hormona luteinizante (LH). Hacia la segunda parte de la fase luteínica los estrógenos producidos por el cuerpo lúteo aumentan. La liberación constante de estrógeno y progesterona desde el cuerpo lúteo ejerce retroalimentación negativa sobre la hipófisis, haciendo declinar tanto a la LH como a la FSH. Este efecto es lo que se mimetiza en los tratamientos anticonceptivos orales.

Si no se produce fecundación, el cuerpo lúteo comienza a atrofiarse y a disminuir su secreción hormonal. Los esteroides que producía, estrógenos y progesterona, disminuyen abruptamente a sus niveles más bajos. Este descenso da lugar a la interrupción de la inhibición por retroalimentación negativa sobre la hipófisis, lo que permite la elevación de FSH que reinicia el próximo ciclo. En la figura 28 se observan las relaciones recíprocas de las hormonas que regulan el ciclo ovárico.

La regulación hormonal del ciclo reproductivo que se acaba de describir deja planteada una pregunta importante: *¿qué es lo que determina la periodicidad mensual del pico de gonadotrofinas y la ovulación?*

Hay evidencias que indican que es el ovario quien determina este ritmo básico, sin embargo, debe tenerse en cuenta que las señales ováricas pueden ser reforzadas o inhibidas por otras influencias que actúen sobre el hipotálamo. La pérdida de la secreción cíclica de las gonadotrofinas puede ocurrir en una serie de situaciones que sugieren que el hipotálamo responde a señales calóricas, térmicas, fóticas, olfatorias o emocionales. Esto se ve en personas con dietas restringidas en calorías o que pierden masa corporal o tejido graso, que cambian de clima, de lugar o sufren trastornos emocionales. Se ha visto que las personas con ovarios que viven en proximidad física estrecha pueden adoptar un ciclo común, posiblemente debido a la existencia de feromonas, señales químicas producidas por un individuo que producen efectos sobre otro. En los seres humanos no hay evidencias de que la ovulación se estimule por el comportamiento sexual, pero hay informes que sugieren que la actividad sexual puede aumentar en las personas con ovarios alrededor del tiempo de la ovulación.

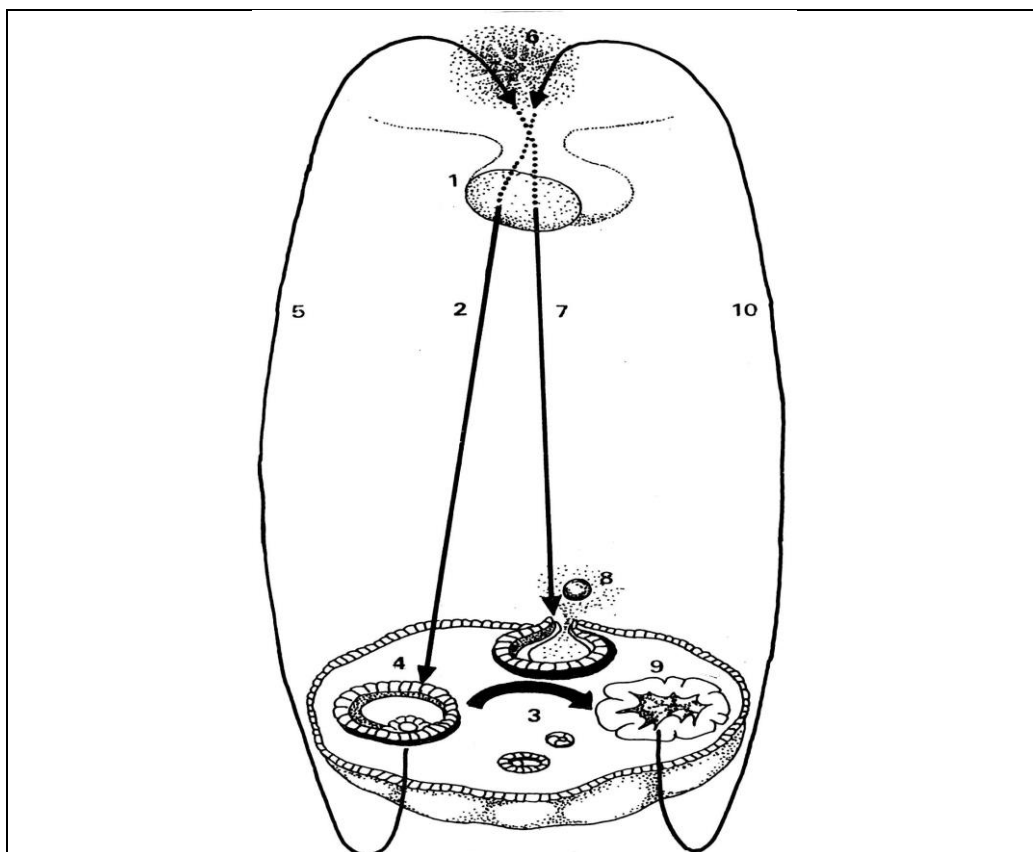


Figura 28. Acciones recíprocas de las hormonas que regulan el ciclo ovárico

La Hipófisis [1], segrega la hormona **FSH** [2] que se unen a receptores en ovario [3] y estimula la maduración de **folículos** [4] y la producción de **estrógenos** [5] por parte de los folículos en crecimiento. Los estrógenos, a su vez, actúan sobre el Hipotálamo [6] para regular la secreción de **FSH** y la de **LH** [7]; esta última provoca la ovulación [8] y la formación del cuerpo lúteo [9] que será el encargado de la secreción de **progesterona** [10] que llegará al Hipotálamo para inhibir la secreción de LH por parte de la Hipófisis durante la fase luteínica.

ÓVULO: es la gameta haploide que va a participar de la fecundación luego que el espermatozoide penetra al ovocito secundario. Tiene forma esférica y es la célula más grande del organismo, mide en promedio unos 0,12 mm de diámetro. En comparación con el espermatozoide, es 100.000 veces más grande. Otra diferencia con el espermatozoide reside en el grado de movilidad; el óvulo carece de flagelo y es prácticamente inmóvil, en la etapa de ovocito secundario se desplaza desde el ovario al útero impulsada por los movimientos peristálticos de las Trompas de Falopio.

Su núcleo es pequeño en relación con el total de su volumen y, generalmente, se ubica en un extremo. Esto da lugar a la diferenciación de dos polos: el polo animal, que es el que contiene al núcleo y el polo vegetativo. El citoplasma del óvulo contiene gránulos de sustancias nutritivas en suspensión (vitelo), principalmente proteínas y grasas. La membrana celular está rodeada por otras dos envolturas, la membrana pelúcida y más externamente por un conjunto de células que provienen del folículo que le dio origen y que constituyen la corona radiada.

EL CICLO UTERINO Y LA MENSTRUACIÓN

El ciclo reproductor se conoce con el nombre de ciclo menstrual o bifásico, en la persona con ovarios en edad fértil no embarazada se extiende desde el comienzo de un período de hemorragia uterina hasta el comienzo del siguiente. La duración media del ciclo es de 28 días, pero puede variar desde 20 a 35 días.

Las modificaciones estructurales y funcionales en el aparato reproductor, durante este período de 28 días, se repiten a lo largo de los años sin muchas variaciones. Los cambios cíclicos en la actividad de las trompas de Falopio, útero y vagina dependen de los estrógenos y la progesterona circulante.

Los cambios que se producen durante la fase preovulatoria o fase folicular del ovario dependen de la secreción de estrógenos, los generados durante la etapa post-ovulatoria o luteínica ovárica, del estrógeno y la progesterona.

La primera parte del ciclo uterino, que comienza con el fin de la menstruación y finaliza en el momento de la ovulación (entre 8 y 10 días) está caracterizada por la proliferación del epitelio del útero (endometrio) y se conoce como **fase proliferativa**. En su transcurso el epitelio uterino experimenta un proceso de reparación y rápido crecimiento (Figura 26) por acción de los **estrógenos**. Estos cambios lo tornan adecuado para la implantación del huevo o cigoto producto de la fecundación.

La fase del ciclo uterino, que se inicia luego de que el ovocito es expulsado del folículo, se conoce como **fase secretora**. Durante este periodo, la contractilidad y la vascularización del útero disminuyen. El aumento creciente en la secreción de progesterona transforma al endometrio proliferado en un órgano que posee glándulas capaces de segregar gran cantidad de glucógeno (hidrato de carbono con funciones nutricias). De esta manera, el útero culmina la preparación para la anidación.

De no producirse fecundación el cuerpo lúteo involuciona debido a que la concentración de progesterona en sangre disminuye. Esta situación produce un retraimiento de los vasos sanguíneos de la pared uterina, la degeneración del endometrio y su destrucción. El endometrio que se desprende de la pared uterina cae a la cavidad uterina y sale por el canal vaginal, constituyendo la **menstruación**, que tiene una duración de 4 a 6 días.

Debido a la caída de la concentración de progesterona en sangre se produce un aumento en la secreción de FSH que estimula el desarrollo de nuevos folículos y el ciclo se reanuda.

En caso de producirse un embarazo la menstruación no se produce, debido a que el endometrio no degenera, así quedaría constituido un ciclo uterino trifásico. Las causas por las que el endometrio continúa siendo funcional durante un largo período serán analizadas más adelante.

PERÍODO DE MAYOR FERTILIDAD

El ovocito secundario una vez eliminados del ovario, tienen una supervivencia de 48 horas, luego de las cuales deja de ser aptos para ser fecundado.

Los espermatozoides depositados en la vagina disponen de unas 48 a 72 horas de vida para poder llegar a las Trompas de Falopio y fecundar al ovocito. Estos períodos de vitalidad de las gametas reducen a unos pocos días la posibilidad de que se produzca la fecundación y la persona quede embarazada.

En términos generales, si la ovulación es bastante fija (especialmente en personas con ciclos de 28 a 30 días), pueden calcularse los días en que puede producirse el embarazo.

Dado que la ovulación se produce entre 13 y 14 días antes de la menstruación, considerando la vida media de los ovocitos y los espermatozoides, puede calcularse que la fecundación puede producirse entre el 11º y el 18º día del ciclo, los que constituyen el período fértil o de mayor fertilidad .

Por lo expuesto se deduce que el embarazo es poco probable cuando el coito tiene lugar antes o después del período indicado. Es importante aclarar que por distintos motivos la ovulación puede adelantarse o atrasarse, determinando que no sea un método anticonceptivo seguro.

EMBARAZO

La fecundación tiene lugar en el tercio externo de la trompa de Falopion y generalmente se realiza dentro de las 15 a 20 horas después de la ovulación; la actividad ciliar y muscular de la trompa de Falopio empuja al cigoto resultante hacia el útero y en el cuarto día consecutivo a la ovulación, se encuentra en el estadio de **mórula** con 12 a 16 células, llegando así a la cavidad uterina. En el séptimo día la masa se ha transformado en un **blastocisto** y ha entrado en contacto con el endometrio penetrándolo y pasando a través del epitelio, que poco después rodea al embrión en desarrollo (figura 29).



Figura 29. Formación del blastocisto

El mecanismo que determina la persistencia del cuerpo lúteo se debe a la acción de una hormona segregada por un grupo de células que forman la capa externa del blastocisto, que provee nutrientes al embrión y se desarrolla como parte importante de la placenta puesto que al tercer mes de la gestación este recibirá el nombre de placenta. La hormona que segrega, llamada **gonadotrofina coriónica** humana tiene receptores en el cuerpo lúteo, estimulando la secreción sostenida de estrógeno y progesterona que impiden la regresión menstrual del endometrio, suprime las menstruaciones y provoca la desaparición, durante el embarazo, de las manifestaciones cíclicas del ovario y útero. El embarazo sólo puede establecerse y mantenerse si se segregan cantidades adecuadas de Progesterona antes y durante la gestación.

Desarrollo fisiológico del aparato reproductor de la persona con capacidad de gestar

Luego de haber completado el largo y complejo proceso del desarrollo, el aparato reproductor se encuentra capacitado para producir las células sexuales y eventualmente alojar a un nuevo individuo hasta el momento del nacimiento.

Desde el nacimiento hasta su muerte, la persona con capacidad de gestar atraviesa distintos períodos en su vida : **infancia, adolescencia, madurez sexual, climaterio y senectud**. Estas etapas no poseen manifestaciones que las delimiten, como podría pensarse que lo son la *menarca* y la *menopausia*, que sólo son fases de la adolescencia y del climaterio.

Infancia: Es el período que se extiende desde el nacimiento hasta aproximadamente los 8 o 10 años de edad. Durante esta etapa el aparato genital permanece en absoluto reposo. Los órganos genitales tienen escaso desarrollo, los caracteres sexuales accesorios se hallan en estado rudimentario y el sistema hipotálamo-hipofisario apenas ejerce influencia sobre las gónadas. Entre los 8 y 10 años se produce el despertar funcional del ovario, finalizando la infancia y comenzando la adolescencia.

Adolescencia: Es la etapa de la vida comprendida aproximadamente entre los 9 y los 18 años, que comienza con la reactividad de las gónadas a las gonadotrofinas endógenas (hormonas producidas por la hipófisis). El crecimiento somático, el comienzo de la función ovárica y el desarrollo de los caracteres sexuales somatopsíquicos son las tres constantes fisiológicas de la adolescencia. La **menarca** (aparición de la primera menstruación), la **telarca** (desarrollo mamario) y la **pubarca** (aparición del vello sexual) son fases de este período de desarrollo.

Madurez sexual: Es el período de la plenitud del desarrollo somático y psíquico que se extiende desde los 18 hasta los 45 años, aproximadamente. El hecho característico es la vigencia del ciclo sexual bifásico (ciclo menstrual sin embarazo) y eventualmente el trifásico (embarazo).

Climaterio: Es una etapa transicional entre la madurez reproductiva y la disminución de la función ovárica. De duración variable y de transcurso entre los 45 y los 50 años, aproximadamente. Si el climaterio es una etapa entre la madurez sexual y la senectud, la **menopausia** es un momento dentro de la madurez sexual que marca la fecha de la última menstruación. Durante el climaterio ocurren cambios anatómicos (atrofia funcional del ovario, ciclos anovulatorios, adelgazamiento del endometrio, atrofia del epitelio vaginal y del tegumento vulvar, cambios en la piel, aparición de arrugas y tendencia a engordar); cambios psíquicos (aumento de la tensión emocional, mayor labilidad, irritabilidad y depresión) y cambios hormonales (refractoriedad progresiva de las gónadas a las gonadotrofinas hipofisarias). Los síntomas de esta etapa son trastornos menstruales, sofocos, crisis de sudoración, taquicardia, opresión, hormigueos, cefaleas, insomnio, hipertensión arterial, entre otros.

Senectud: Sobreviene cuando el climaterio termina y el organismo alcanza un nuevo equilibrio hormonal, tras el cese de las funciones ováricas. En esta etapa predominan los fenómenos atróficos.

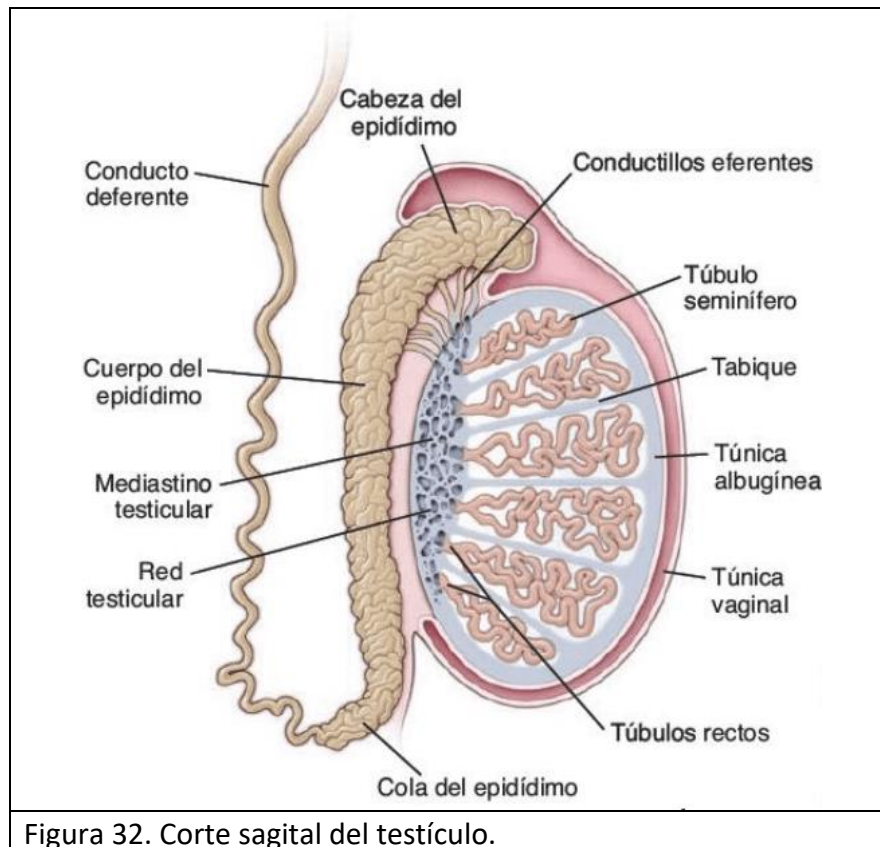
APARATO REPRODUCTOR PRODUCTOR DE ESPERMATOZOIDES

Los órganos que componen el aparato reproductor productor de espermatozoides son los testículos, un sistema de conductos (que incluye el epidídimo, el conducto deferente, los conductos eyaculadores y la uretra), glándulas accesorias (las vesículas seminales, la próstata y las glándulas bulbouretrales) y varias estructuras de sostén, como el escroto y el pene. Los

testículos (gónadas) producen espermatozoides (secreción externa) y secretan hormonas (secreción interna) por lo que son considerados glándulas mixtas.

El sistema de conductos transporta y almacena los espermatozoides, participa en su maduración y los conduce al exterior. El semen contiene espermatozoides junto con secreciones provistas por las glándulas sexuales accesorias. Las estructuras de sostén tienen varias funciones. Durante el coito, el pene libera los espermatozoides dentro del aparato genital femenino y el escroto sostiene a los testículos.

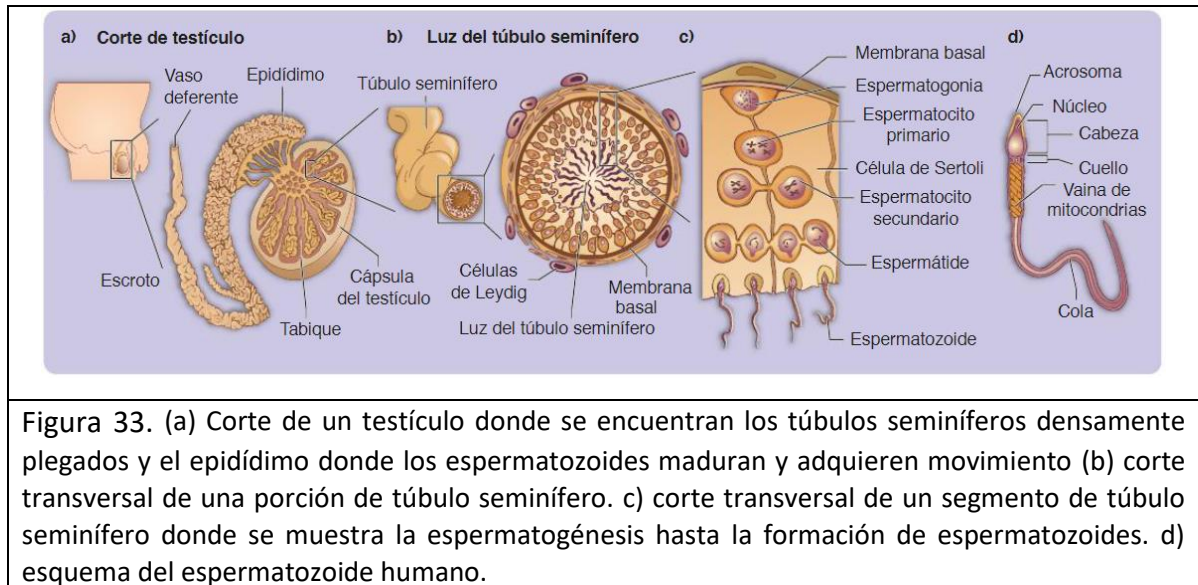
Testículos: Son glándulas pares ovals ubicados en la parte anterior de la región perineal o perineo. Están contenidos en el saco escrotal, miden, en el adulto, de 3 a 5 cm de largo y 2 a 4 cm de ancho. Cada testículo está recubierto por una cápsula fibrosa blanca que se extiende hacia el interior formando tabiques que dividen el testículo en una serie de compartimientos internos llamados lóbulos. Cada uno de los 200-300 lóbulos contiene de uno a tres túbulos muy enrollados denominados **túbulos seminíferos** donde se producen los espermatozoides (Figura 32). El proceso por el cual los túbulos seminíferos producen espermatozoides se conoce como espermatogénesis



Los túbulos seminíferos contienen dos tipos de células: las células que por meiosis producen espermatozoides y las **células de Sertoli**, encargadas de varias funciones en el mantenimiento de la espermatogénesis. En el testículo del embrión las células precursoras de gametas se diferencian en espermatogonias, que permanecen en estado de letargo durante la niñez e inician la producción activa de espermatozoides en la pubertad.

En la figura 33a se puede observar en un plano transversal del testículo los túbulos seminíferos densamente replegados, donde se forman los espermatozoides; y el epidídimo,

donde los espermatozoides maduran y adquieren movimiento. En el esquema de un corte transversal (figura 33 b y c) de un túbulo seminífero se observan células en distintos estadios de la espermatogénesis, encontrándose las más maduras cerca de la luz. Según el grado de maduración se observan espermatocitos primarios, espermatocitos secundarios, espermátides y espermatozoides. Cuando el espermatozoide adquiere movilidad se libera a la luz del túbulo (figura 33d).



Durante el proceso de espermatogénesis (en la meiosis I) los espermatocitos primarios ($2n$) se dividen en dos células de igual tamaño (n) haploides, denominados espermatocitos secundarios. En la segunda división meiótica, los dos espermatocitos secundarios originan cuatro espermátidas de igual tamaño. Cada una de ellas madura y se diferencia en un espermatozoide.

Distribuidas entre las células espermatogénicas en los túbulos seminíferos se encuentran las **células de Sertoli**, estas células nutren a las distintas células espermáticas en desarrollo, producen líquido para el transporte de espermatozoides y secretan una hormona llamada **Inhibina**.

En el intersticio que separa a dos túbulos seminíferos adyacentes hay grupos de células llamadas **células de Leydig**. Estas células secretan la hormona sexual, **testosterona**.

CONTROL Y REGULACIÓN HORMONAL DE LOS TESTÍCULOS

Los testículos poseen una doble función: formar las gametas y producir hormonas. La gametogénesis depende en gran parte de la producción de testosterona por el testículo. Estas dos funciones están reguladas por la hipófisis anterior y el hipotálamo.

La transición desde la niñez a la pubertad comienza entre los 8 y los 11 años, aunque en general no se hace evidente hasta los 10-13 años. Al inicio de la pubertad el aumento de la secreción hipofisiaria de hormonas Folículoestimulante y Luteinizante estimula a los túbulos seminíferos y a las células de Leydig, éstas proliferan y comienzan a sintetizar andrógenos, de los cuales el principal y más potente es la **testosterona**.

Esta hormona es la responsable del desarrollo y crecimiento de los órganos genitales y del desarrollo de los caracteres sexuales secundarios. Éstos incluyen el crecimiento muscular y esquelético que resultan en una espalda más ancha y una cintura angosta, crecimiento del vello púbico, axilar, facial y pectoral; engrosamiento de la piel, aumento de la secreción sebácea, crecimiento de la laringe y voz más gruesa. La testosterona es una hormona anabólica que estimula la síntesis proteica, esto se evidencia en la mayor masa muscular y ósea.

La producción y liberación de **testosterona** es regulada por un sistema de retroalimentación negativa (figura 34) que implica, entre otros mensajeros químicos a la Hormona Luteinizante, producida por la hipófisis anterior, bajo la influencia del Hipotálamo a través del Factor Liberador de Gonadotropina (GnRH). La hormona Luteinizante volcada a la circulación sanguínea estimula a las células de Leydig de los testículos para secretar testosterona. Cuando aumenta el nivel de testosterona en sangre, la liberación de LH desde la Hipófisis disminuye (Retroalimentación negativa).

Los testículos, además, están bajo la influencia de la hormona Foliculoestimulante. Esta actúa sobre las células de Sertoli de los testículos, que son las encargadas de nutrir a los espermatozoides en desarrollo, estas células producen la hormona Inhibina que controla por retroalimentación negativa a la hormona Folículo estimulante.

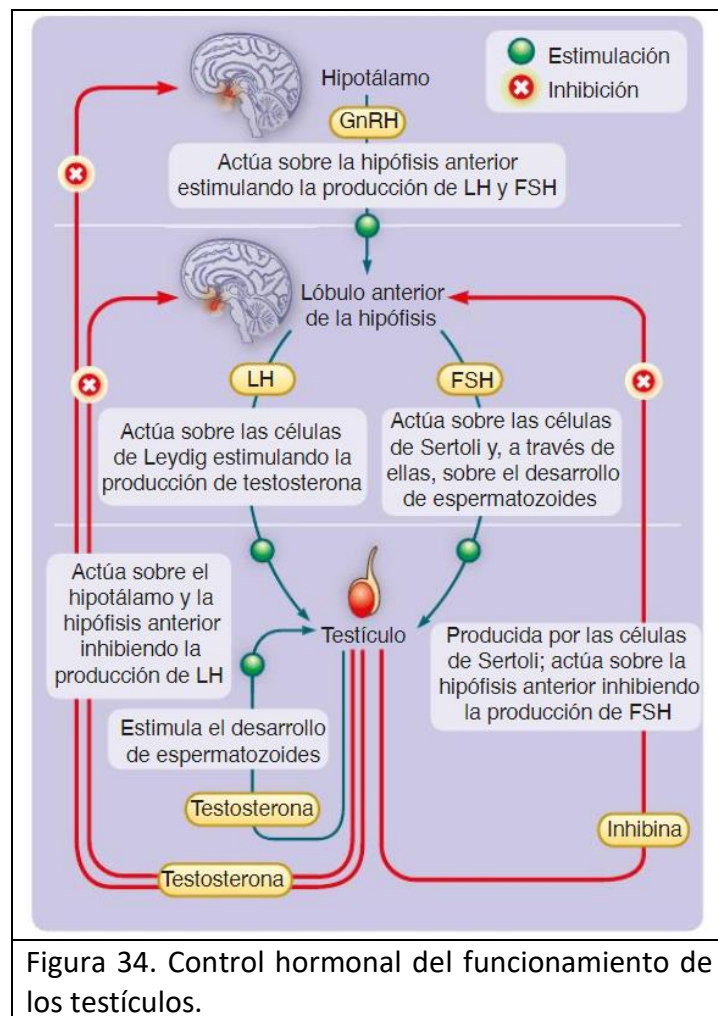


Figura 34. Control hormonal del funcionamiento de los testículos.

En personas con testículos, la tasa de liberación de Testosterona es constante, aunque puede ser afectada por variables sociales o clima emocional. La producción de Testosterona es afectada por compuestos conocidos como esteroides anabólicos. Estas drogas, que son variantes químicas de la Testosterona, se elaboraron originariamente en Alemania en la década del 30, en un intento de producir un desarrollo de la musculatura propio de la hormona natural, sin sus efectos masculinizantes. Debido a su similitud química con la Testosterona, los esteroides anabólicos inhiben el sistema de retroalimentación negativa que regula la producción de Testosterona. En adultos, su uso puede disminuir los niveles de Testosterona hasta un 85%, causando la contracción de los testículos y el crecimiento de las mamas. El uso a largo plazo de estas drogas incrementa también el riesgo de daño renal y hepático, de cáncer de hígado y de enfermedad cardíaca. En los adolescentes puede llevar a la calvicie prematura y a la imposibilidad de alcanzar máxima altura.

Espermatozoide: presenta tres zonas bien diferenciadas: la cabeza, una zona intermedia (vaina mitocondrial) y la cola (figura 35). La cabeza es la zona superior y más ancha de la célula; en ella se encuentra, en una posición central, el núcleo celular con el ADN. En la parte anterior de la cabeza se halla el **acrosoma**, que se origina a partir del aparato de Golgi. El acrosoma es una vesícula cargada de enzimas que le permitirán atravesar la capa protectora que rodea al ovocito secundario en la fecundación.

La zona intermedia o vaina mitocondrial se une a la cabeza por medio del cuello, en el que se hallan dos centriolos; uno de ellos origina el filamento axial, que recorre el espermatozoide desde esta zona intermedia hasta el final de la cola. Este segmento está cargado de mitocondrias, organelas que aportarán la energía necesaria para el intenso movimiento del espermatozoide.

La cola está formada por el filamento axial, rodeado por una vaina fibrosa (fibras proteicas densamente enrolladas en forma de hélice) que se va reduciendo progresivamente hasta desaparecer. Este filamento constituye el flagelo del espermatozoide, y es el responsable de su movilidad.

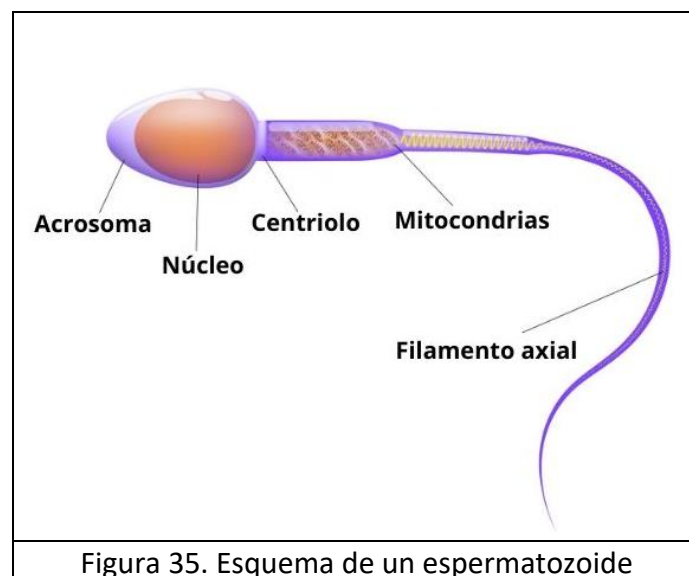


Figura 35. Esquema de un espermatozoide

Sistema de conductos

La presión generada por el líquido secretado por las células de Sertoli impulsa los espermatozoides y el líquido por la luz de los túbulos seminíferos hacia una red de conductos que confluyen en el epidídimo (figura 36).

Epidídimo: Es un tubo único al cual confluyen los tubos seminíferos. Tiene una longitud de 7 metros y está completamente enrollado sobre la región dorsal del testículo. En él se almacenan y maduran los espermatozoides.

Conductos deferentes: El epidídimo de cada testículo se continúa en un conducto más grueso y de paredes contráctiles, el vaso deferente, de unos 50 a 60 cm de longitud. Pasa desde el escroto a la cavidad abdominal a través del canal inguinal, por encima de la vejiga. Mediante sus contracciones conduce a los espermatozoides hacia la uretra. Cada testículo posee un conducto deferente que se inicia en el epidídimo y, antes de culminar en la uretra, se une a la vesícula seminal.

Uretra: Los conductos eyaculadores se conectan directamente con este órgano tubular, en forma de "S", que se extiende a lo largo del pene, y cuya función es conducir y expulsar a los espermatozoides durante la eyaculación. Su abertura al exterior se denomina meato urinario. Este órgano está compartido con el aparato excretor, ya que es por donde transcurre la orina proveniente de la vejiga urinaria, hacia el exterior.

Glándulas accesorias

Cuando los espermatozoides comienzan a recorrer los conductos del sistema reproductor, reciben secreciones provenientes de las glándulas, que los nutren y los ayudan a desplazarse (figura 36).

Las **vesículas seminales** son dos pequeñas glándulas, de forma tubular, que segregan un líquido viscoso y alcalino. Cada una de ellas se une al conducto deferente correspondiente y confluye en otro conducto, el **conducto eyaculador**.

La **próstata** es la mayor de las glándulas accesorias. Secreta un líquido blanquecino, también alcalino, que se mezcla con el proveniente de las vesículas seminales. Las **glándulas de Cowper o bulbouretrales**, son glándulas muy pequeñas situadas en la base del pene, su secreción sirve como lubricante durante la excitación sexual, facilitando la penetración del pene en la vagina durante el coito.

Pene

Es el órgano a través del cual se introducen los espermatozoides en la vagina durante el coito. Posee forma cilíndrica y en estado de flacidez tiene una longitud de 10 a 12 cm. Internamente, está formado por tres masas de tejido eréctil esponjoso, cada una de las cuales contiene un gran número de pequeños espacios que se llenan de sangre para producir la erección (figura 36). Dos de estas masas (cuerpos cavernosos) se encuentran en la porción dorsal del pene y la tercera se encuentra por debajo de ellas, rodeando la uretra. La tercera masa (cuerpo esponjoso), está agrandada en su extremo distal para formar el glande, que es una cubierta protectora lisa que se encuentra sobre los tejidos esponjosos; en el extremo basal se agranda para formar el bulbo del pene, que está embebido debajo de la cavidad pélvica y está rodeado por músculos que participan en el orgasmo. Este cuerpo esponjoso

esta recorrido internamente por la uretra. La porción externa del pene está cubierta por una capa delgada y suelta de piel, que en su extremo forma un pliegue que rodea al glande, denominado prepucio.

La erección del pene se desencadena debido a impulsos nerviosos que provocan la dilatación de los vasos sanguíneos que irrigan los cuerpos cavernosos y esponjosos; éstos contienen un gran número de espacios, muy pequeños, que, como consecuencia de la dilatación y con una estimulación continuada, se llenan de sangre. De esta manera, el pene logra endurecerse y aumentar su tamaño.

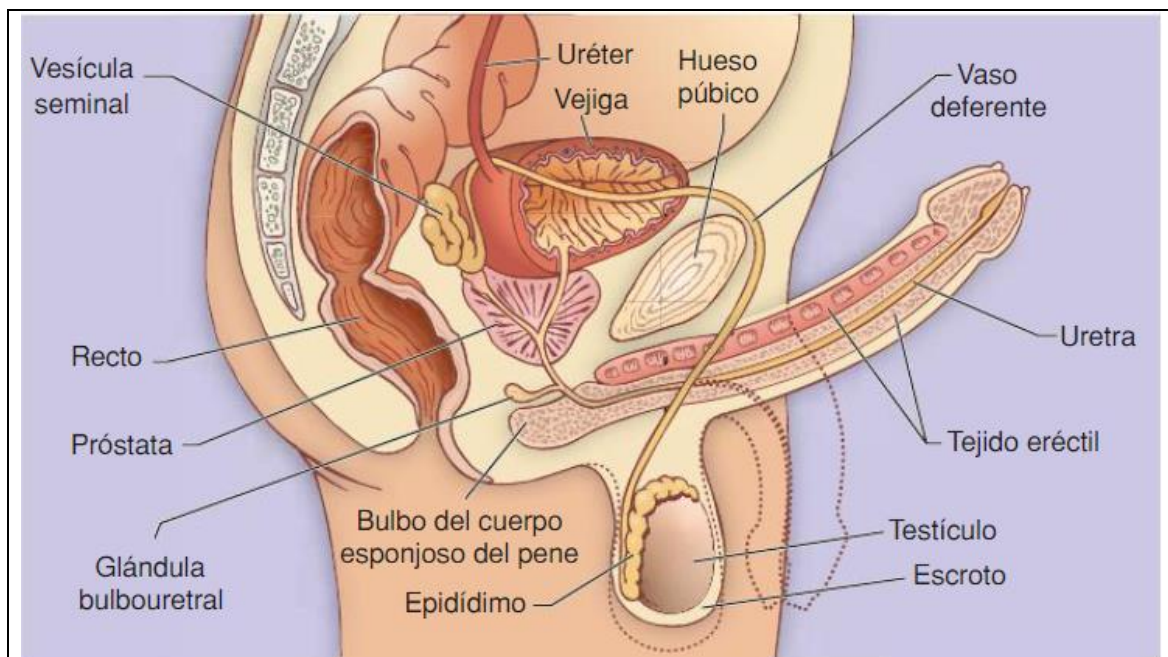


Figura 36 Aparato reproductor productor de espermatozoides.

BIBLIOGRAFÍA

- Curtis, H., Sue Barnes, N., Schnek, A. & Massarini A. (2011) *Biología*. Editorial Médica Panamericana. 7ma. Edición en español. 3ra. Reimpresión.
- Tortora G. R. & Derrickson, B. (2010). *Principios de Anatomía y Fisiología*. 11ra. Edición. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Acevedo, S. F., & Parra, L. F. C. (2016). Rol Modulador de la Oxitocina en la Interacción Social y el Estrés Social. *Universitas Psychologica*, 15(5).