

# FUNDAMENTOS DE NEUROCIENCIA CONDUCTUAL

## UNIDAD 4. Sistema Neuroendocrino

### Objetivo

El objetivo de esta unidad es que el alumnado conozca el sistema endocrino y neuroendocrino y su importancia en la conducta. Se describen los conceptos básicos de endocrinología, las diferentes glándulas de secreción interna, su localización, naturaleza y mecanismos de acción. A continuación, se estudiarán las relaciones hipotálamo hipofisarias introduciendo el concepto de hormona de liberación y hormona trópica. Seguidamente se desarrollarán los tres ejes hipotálamo hipofisarios, describiendo los mecanismos de regulación y las acciones biológicas de las hormonas segregadas por las glándulas diana (tiroides, suprarrenales y gónadas). Se describirán los efectos de las principales hormonas, haciendo énfasis en la respuesta fisiológica de estrés y sus implicaciones, y se estudiará el papel organizador, reproductor y conductual de las hormonas sexuales. Finalmente, se describirán otras hormonas implicadas en la conducta.

### Contenido

Tema 1. Las glándulas endocrinas como sistema de respuesta. Clasificación y mecanismos de acción. Regulación de la secreción hormonal.

Tema 2. Relaciones Sistema Nervioso-Sistema Endocrino. Hormonas trópicas. Neurohipófisis. Adenohipófisis.

Tema 3. Eje hipotálamo hipofisario tiroideo. Hormonas de la glándula tiroides. Efectos sobre la conducta.

Tema 4. Eje hipotálamo-hipofisario-adrenal. La médula y la corteza adrenal. Función de las principales hormonas adrenales. Respuesta fisiológica de estrés. Implicaciones conductuales.

Tema 5. Eje hipotálamo-hipofisario-gonadal. Testículo y ovario. Principales hormonas gonadales y funciones fisiológicas. Implicaciones en el desarrollo y características sexuales. El ciclo menstrual. Efecto de las hormonas gonadales sobre la conducta sexual.

Tema 6. Otras glándulas. Epífisis. Páncreas y Paratiroides. Hormonas principales.

### Equipo docente

Garikoitz Azkona Mendoza

Garikoitz Beitia Oyarzabal

Maidier Muñoz Culla

Eider Pascual Sagastizabal

Oscar Vegas Moreno

## Tema 1. Introducción al Sistema Neuroendocrino

El sistema neuroendocrino se encarga de producir y secretar hormonas cuya función es regular la actividad de las células y los órganos. Está formado por neuronas y glándulas, que conjuntamente se encargan de sintetizar y segregar las diferentes hormonas al torrente sanguíneo, a través del cual llegarán al tejido diana para producir su efecto. El encéfalo es un importante productor de hormonas, y a través de su emisión a la circulación sanguínea interviene en procesos fundamentales como la reproducción, el crecimiento o el metabolismo. Por otro lado, el encéfalo es también un importante receptor de los mensajes hormonales que le llegan a través de la sangre; las hormonas intervienen así en la actividad neuronal y en el comportamiento.

### Las glándulas endocrinas como sistema de respuesta

Las **glándulas endocrinas** son las estructuras encargadas de producir y liberar las **hormonas** en el torrente sanguíneo a través del cual difundirán a cualquier órgano o tejido diana del organismo. La diferencia con las glándulas exocrinas es que éstas, liberan sus productos a conductos (como el tubo digestivo) donde ejercerán su efecto en órganos o tejidos diana adyacentes o fuera del organismo (las glándulas sudoríparas por ejemplo).

Las principales glándulas endocrinas son: el hipotálamo, la hipófisis, la glándula pineal, el tiroides, las glándulas suprarrenales, las gónadas (testículos y ovarios), las paratiroides y los islotes de Langerhans. También algunos órganos como los riñones, el hígado o el intestino tienen función endocrina. Como puede observarse, están repartidas por todo el cuerpo y es el hipotálamo el que ejerce la coordinación del resto de glándulas, como se verá más adelante.

### Clasificación y mecanismos de acción

Las hormonas se pueden clasificar en tres tipos atendiendo a su estructura química:

1. **Hormonas esteroideas:** derivan del colesterol y comparten un grupo químico común. Entran dentro de esta categoría las hormonas procedentes de la corteza adrenal (glucocorticoides y mineralocorticoides) y de las gónadas (hormonas sexuales masculinas y femeninas). Son hormonas liposolubles, por lo que atraviesan fácilmente la membrana celular. Debido a su hidrofobicidad, se unen a proteínas transportadoras específicas para que puedan “viajar” en la sangre.
2. **Hormonas peptídicas:** están formadas por cadenas de aminoácidos son solubles en sangre. Se incluyen en esta categoría aquellas liberadas por el hipotálamo, las hormonas trópicas de la hipófisis anterior, las hormonas de la hipófisis posterior, las hormonas gastrointestinales y las hormonas del páncreas.
3. **Hormonas monoamínicas:** derivan del aminoácido tirosina e incluyen las hormonas de la médula adrenal y las hormonas tiroideas. Las hormonas de la médula adrenal son hidrosolubles mientras que las tiroideas son liposolubles.

Estas características químicas son importantes porque de ellas dependerá la interacción con sus receptores y la respuesta posterior. Las **hormonas hidrosolubles** (hormonas peptídicas y hormonas de la médula adrenal) no pueden atravesar la membrana plasmática y por lo tanto, actuarán uniéndose a los receptores presentes en dicha membrana. La unión entre la hormona y la parte externa del receptor produce un cambio conformacional en el receptor. Este cambio de configuración, activará o producirá una molécula en la parte intracelular que actuará como **segundo mensajero** (la propia hormona sería el primer mensajero), es decir, que se producirán una serie de reacciones (cascada de señalización) que dan como resultado la amplificación de la señal. Esta cadena de reacciones puede modificar la actividad catalítica de varias enzimas o la síntesis de proteínas, que dará lugar a un cambio en la fisiología celular. Algunos de los segundos mensajeros más importantes son el AMP cíclico (AMPc), GMP cíclico (GMPc), inositol trifosfato o el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ).

Las hormonas esteroides y tiroideas son **hormonas liposolubles** (hidrofóbicas) y, por lo tanto, pueden atravesar la membrana plasmática fácilmente y su mecanismo de acción será distinto al de las hormonas hidrosolubles. Como se ha comentado anteriormente, estas hormonas, por su hidrofobicidad, necesitan unirse a una proteína transportadora para viajar a través del torrente sanguíneo. Cuando llegan al tejido diana, se disocian de dicha proteína, atraviesan la membrana celular por difusión y se unen a sus receptores específicos intracelulares. Este complejo hormona-receptor, una vez que entra en el núcleo celular es capaz de reconocer secuencias concretas en el ADN que están próximas a ciertos genes. La unión del complejo hormona-receptor a dicha secuencia de ADN iniciará la transcripción de esos genes, produciendo los RNA mensajeros y proteínas correspondientes. Esta actividad transcripcional y síntesis proteica modificará la fisiología de la célula, dando lugar a la respuesta producida por la señalización hormonal. Como se podrá intuir, este mecanismo de acción es más lento que el de la respuesta de las hormonas hidrosolubles, puesto que implica la activación de la transcripción y la síntesis de proteínas. Pese a que este es el mecanismo general, se han descrito también receptores de membrana para esteroides que producen efectos rápidos y cuya activación da lugar a respuestas celulares no genómicas.

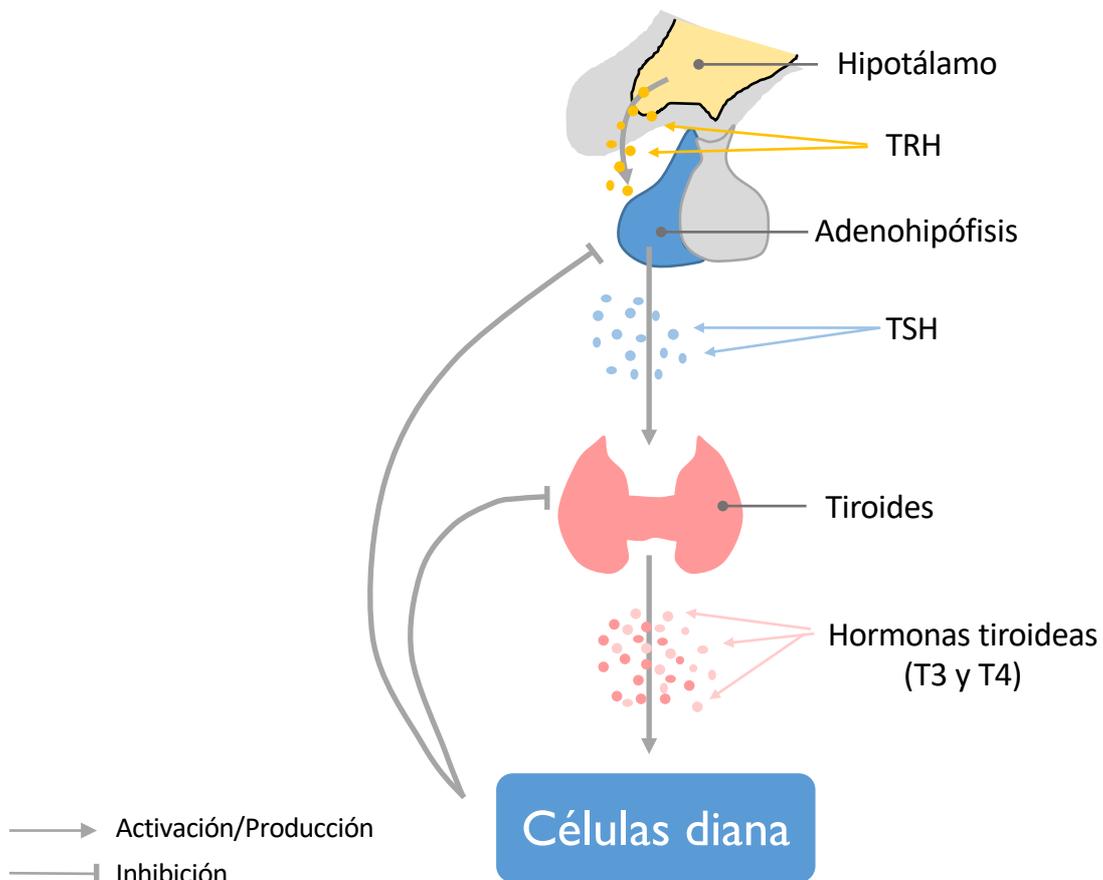
### Regulación de la secreción hormonal

Las hormonas son sustancias activas a concentraciones muy bajas y es por ello que su síntesis y liberación está controlada de manera muy estricta para controlar la homeostasis del organismo y ajustarse a las necesidades en cada momento. El sistema de control de la secreción hormonal sigue un esquema jerárquico, en el que el hipotálamo se sitúa en la parte superior, coordinando la actividad de otras glándulas. El **hipotálamo** recibe aferencias desde diferentes áreas del encéfalo, así como señales que informan de la concentración en sangre de hormonas, y tras la integración de todos esos mensajes, responde segregando hormonas que actuarán en el siguiente nivel de esta jerarquía, que es la **hipófisis** o **glándula pituitaria**.

La hipófisis consta de dos partes funcionalmente diferenciadas: el lóbulo anterior o **adenohipófisis**, y el lóbulo posterior o **neurohipófisis**. Este último almacena y libera a la circulación general dos hormonas sintetizadas en el hipotálamo, mientras que la adenohipófisis

segrega numerosas hormonas que tienen como diana otras glándulas endocrinas (corteza adrenal, tiroides, ovario y testículos) o distintos tejidos.

El mecanismo molecular por el cual son regulados los distintos ejes neuroendocrinos es la **retroalimentación**, es decir, un bucle en el que el nivel en sangre de una hormona dada, causa un efecto para controlar su propia producción. La mayoría de los mecanismos de retroalimentación que regulan las hormonas son bucles de **retroalimentación negativa**, que pueden tener distintos niveles de complejidad. Así, el mecanismo más sencillo, consiste en que el nivel de la hormona o alguna otra sustancia regule directamente la glándula que la produce. Un ejemplo es la liberación de las hormonas tiroideas (Figura 1).



**Figura 1.** Mecanismo de regulación de retroalimentación, tomando como ejemplo el eje hipotálamo-hipófisis-tiroides. Imagen de los autores.

El nivel de complejidad de estos bucles de retroalimentación, aumenta en las glándulas que están controladas por el eje hipotálamo-hipófisis, puesto que el control puede hacerse en distintos niveles de la jerarquía y controlando los niveles de otras hormonas.

## Tema 2. Relaciones Sistema Nervioso-Sistema Endocrino

### Comunicación entre SN-SE

A continuación, destacaremos algunos aspectos característicos del sistema nervioso y el sistema endocrino, para compararlos. En la **comunicación neuronal** los neurotransmisores acumulados en vesículas en el terminal axónico se liberan en la hendidura sináptica y se unen a los receptores, que están situados en la membrana de la célula post-sináptica. En la **comunicación endocrina**, las hormonas también se liberan mediante la fusión de vesículas con la membrana plasmática de las células endocrinas, pero lo hacen al sistema circulatorio, donde pueden alcanzar cualquier tejido u órgano diana. No obstante, las hormonas sólo tendrán su efecto en aquellas células que posean receptores específicos para dichas hormonas. Una de las diferencias más relevantes entre los dos sistemas de comunicación es su velocidad. La comunicación neuronal se produce rápidamente, y suele ser una respuesta de todo o nada interviniendo en situaciones que requieren rapidez, como percibir los objetos de nuestro entorno o mover nuestro cuerpo. Por el contrario, la comunicación hormonal, que ocurre lentamente y puede tener una intensidad graduada, está involucrada en procesos de una duración más prolongada como son la digestión o el desarrollo del individuo.

Hasta hace algunas décadas se pensaba que el sistema nervioso y sistema endocrino eran dos sistemas diferenciados y que no se comunicaban entre sí, pero actualmente, sabemos que son dos sistemas que están estrechamente conectados, que la función de uno afecta al otro y viceversa y cuyos límites son difusos.

A comienzos del siglo XX se demostró que la hipófisis o la glándula pituitaria, una estructura en la base del encéfalo, liberaba hormonas que eran las responsables de activar muchas de las glándulas endocrinas. Este descubrimiento hizo que la hipófisis fuera considerada la “glándula maestra” del organismo. Posteriormente, se encontró que, en realidad, la hipófisis se encontraba a su vez bajo el control del hipotálamo y que, por lo tanto, esta región encefálica es la que ejerce el control sobre el sistema endocrino. Actualmente sabemos que algunos núcleos neuronales del hipotálamo son capaces de liberar hormonas y por ello se las denomina **células neurosecretoras** o **neuroendocrinas** y constituyen el punto de conexión entre el sistema nervioso y el sistema endocrino. Además, existe una conexión sanguínea entre el hipotálamo y la hipófisis anterior (sistema porta hipotálamo-hipófisis) y es ahí donde el hipotálamo segrega las hormonas (denominadas neurohormonas porque son sintetizadas por neuronas) que producirán la liberación de las hormonas adenohipofisarias trópicas y no-trópicas (Figura 2).

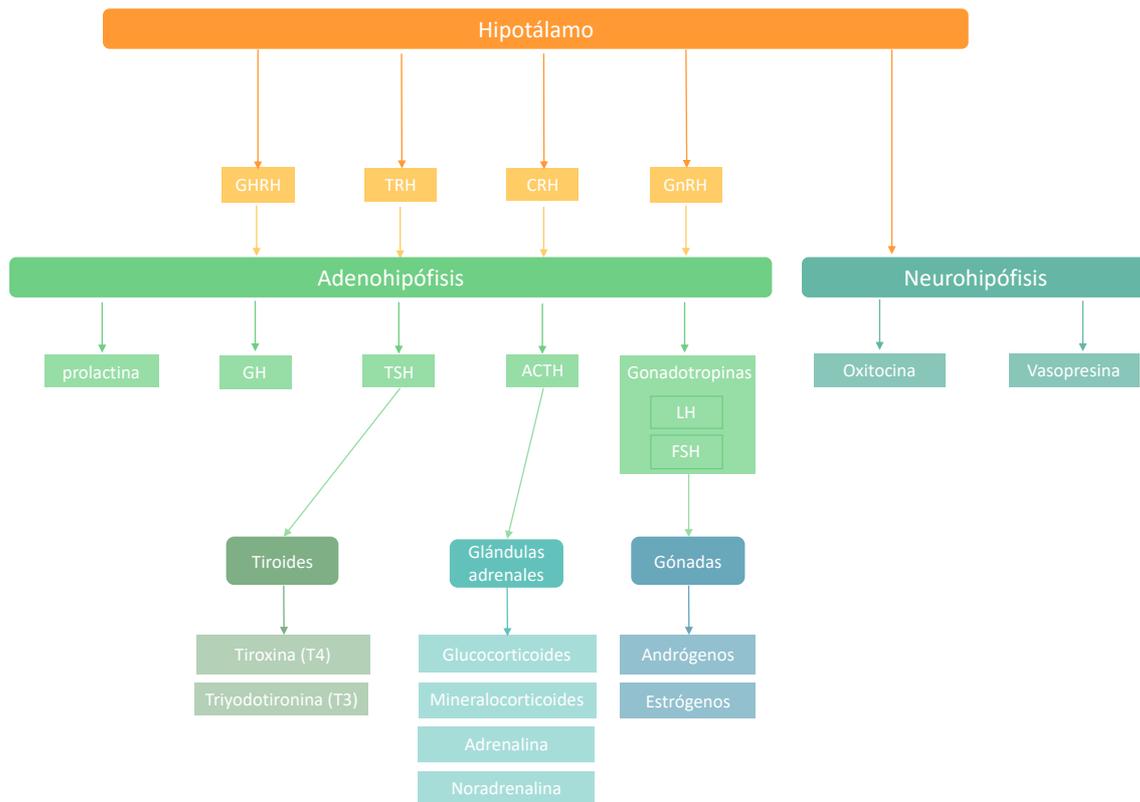


Figura 2. Principales ejes neuroendocrinos. Imagen de los autores.

### Hormonas trópicas

Las **hormonas trópicas** son aquellas que actúan sobre otra glándula endocrina para regular la producción hormonal, mientras que las hormonas no-trópicas son aquellas que actúan directamente sobre los órganos o tejidos diana.

La adenohipófisis libera ambos tipos de hormona, como veremos en la siguiente sección.

### Neurohipófisis y Adenohipófisis

La **neurohipófisis** es considerada una extensión del hipotálamo y está bajo el **control directo** del mismo. Actúa segregando principalmente dos hormonas, la oxitocina y la vasopresina, que son producidas en los núcleos supraóptico y paraventricular del hipotálamo. Las neuronas de estos núcleos sintetizan esas dos hormonas y proyectan sus axones hasta la neurohipófisis, donde se ramifican y entran en contacto con los capilares sanguíneos, donde liberan las neurohormonas. Como puede observarse, la neurohipófisis no es una glándula endocrina real, sino una red especializada de capilares que reciben las hormonas hipotalámicas y las liberan a la circulación.

La **oxitocina** es una hormona peptídica involucrada en la función reproductora de los mamíferos. Produce contracciones en el útero que son importantes para favorecer la fertilización del óvulo y necesarias durante el parto. Tiene un papel fundamental en la lactancia, puesto que favorece la secreción de la leche contrayendo el tejido mamario. Además, se la relaciona con el apego.

La **vasopresina** u hormona antidiurética, es también una hormona peptídica muy similar a la oxitocina. Su efecto principal es provocar la reabsorción de agua por parte de los riñones, disminuyendo la producción de orina. Además, regula el volumen sanguíneo, el balance electrolítico e incrementa la presión arterial (esta es la razón de su denominación como vasopresina), contribuyendo a la homeostasis del organismo. Al igual que la oxitocina, en los últimos años se la relaciona también con el apego.

Como se ha visto hasta ahora, la neurohipófisis está sometida a un control directo por parte del hipotálamo mientras que la **adenohipófisis** está controlada de forma **indirecta**, mediante la liberación de hormonas estimulantes:

- **GHRH** (hormona liberadora de hormona del crecimiento), controla la liberación de la *hormona del crecimiento* (GH).
- **TRH** (hormona liberadora de tirotropina), controla la liberación de la *hormona estimulante de la tiroides* (Tirotropina o TSH).
- **CRH** (hormona liberadora de corticotropina), controla la liberación de *adrenocorticotropina* (ACTH).
- **GnRH** (hormona liberadora de gonadotropina), controla la liberación de *gonadotropinas* (Hormona Luteinizante o LH y Hormona Folículo estimulante o FSH).

Las **hormonas no-trópicas** que segrega la adenohipófisis son la prolactina y la hormona del crecimiento (GH) o somatotropina. La **prolactina** estimula la producción de leche por parte de las glándulas mamarias. La **hormona de crecimiento** estimula el crecimiento del cuerpo mediante la producción de sustancias que regulan el crecimiento de los huesos.

Las **hormonas trópicas** liberadas por la adenohipófisis son las siguientes:

- Hormona adrenocorticotrópica o corticotropina (ACTH). Las siglas con la que conocemos habitualmente este tipo de hormonas corresponde a su denominación en inglés (ACTH, adrenocorticotropic hormone).
- Hormona estimulante de la tiroides (TSH) o tirotropina.
- Gonadotropinas: incluyen la hormona foliculoestimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH).

Teniendo en cuenta el órgano diana de las hormonas hipofisarias, podemos distinguir diferentes ejes hormonales: eje de la prolactina, eje de la hormona de crecimiento, eje hipotálamo hipofisario tiroideo, eje hipotálamo-hipofisario-adrenal y eje hipotálamo-hipofisario-gonadal. Los tres últimos ejes se explicarán con más detalle en los siguientes apartados.

## Tema 3. Eje hipotálamo hipofisario tiroideo

### Eje Hipotálamo Hipofisario Tiroideo

El eje HHT (hipotálamo-hipófisis-tiroides), es el eje que regula la liberación de las hormonas tiroideas. La **glándula tiroides** es uno de los órganos endocrinos más grandes, formada por dos lóbulos unidos por una banda de tejido que se sitúa dentro del cuello, delante de la tráquea y bajo la laringe. Esta glándula produce las hormonas **tiroxina** o **tetrayodotironina (T<sub>4</sub>)** y la **triyodotironina (T<sub>3</sub>)**, cuya liberación está controlada por la **hormona estimulante de la tiroides (TSH)** que libera la adenohipófisis. La liberación de la TSH depende del nivel de hormonas tiroideas en sangre, así como de la liberación por parte del hipotálamo de la **hormona liberadora de tirotrópina (TRH)**.

### Hormonas de la glándula tiroides

Las hormonas que produce la glándula tiroides son la triyodotironina (T<sub>3</sub>) y la tetrayodotironina o tiroxina (T<sub>4</sub>), que se sintetizan a partir de una glucoproteína denominada tiroglobulina. La síntesis comienza con la yodación de algunos residuos de tiroxina de la molécula tiroglobulina y posteriores modificaciones de esos residuos de tiroxina darán lugar a las hormonas T<sub>3</sub> y T<sub>4</sub>. El yodo necesario para la síntesis de estas hormonas se obtiene a través de la dieta que, tras su absorción, es transportada a través del torrente sanguíneo hasta la glándula tiroides.

### Efectos sobre la conducta

Las hormonas tiroideas regulan el metabolismo basal. Son hormonas que se unen a su receptor intracelular y el complejo hormona-receptor activa la transcripción de una serie de genes que sintetizarán enzimas implicadas en el metabolismo. La rápida oxidación de la glucosa, consecuencia del aumento de la tasa metabólica, ayuda a mantener la temperatura corporal. Además, están implicadas en el crecimiento celular y en la diferenciación de los tejidos y son de vital importancia en el desarrollo y maduración del sistema nervioso.

Un déficit en las hormonas tiroideas (hipotiroidismo) puede provocar en niños un retraso en el crecimiento y retraso mental. En adultos, puede producir fatiga, sobrepeso, sensibilidad al frío o dificultad respiratoria entre otros muchos síntomas. El hipertiroidismo (aumento en las hormonas tiroideas), en cambio, puede producir pérdida de peso, sensibilidad al calor e irritabilidad o nerviosismo entre otros síntomas.

## Tema 4. Eje hipotálamo-hipofisario-adrenal

### Eje HHA, la médula y la corteza adrenal

El eje hipotalámico-hipofisario-adrenal (eje HHA) es un sistema de interacciones retroalimentadas entre el [hipotálamo](#), la [hipófisis](#) (glándula pituitaria), y la glándula [adrenal](#) o [suprarrenal](#). Las glándulas suprarrenales son pequeñas glándulas ubicadas en la parte superior de cada riñón. Estas producen hormonas imprescindibles para la vida.

Las glándulas suprarrenales se encuentran divididas en dos partes bien diferenciadas: la corteza y la médula. La corteza adrenal, a su vez, se divide en tres zonas: la zona glomerular externa, la zona fasciculada y la zona reticular. Es importante constatar esta diferenciación ya que cada zona se encarga de ciertas hormonas y de ciertas funciones.

Las principales hormonas secretadas por la corteza adrenal son los glucocorticoides y los mineralocorticoides, aunque estas glándulas también se encargan de secretar otras hormonas, como por ejemplo prostágenos, andrógenos o estrógenos, aunque en pequeñas cantidades.

La médula adrenal, por su parte, secreta adrenalina y la noradrenalina que además de su función hormonal, actúan como neurotransmisores en el Sistema Nervioso.

### Función de las principales hormonas adrenales

Las principales hormonas secretadas por las glándulas adrenales poseen funciones específicas:

- **Los Glucocorticoides:** incrementan los niveles de glucosa en sangre, incrementando la lisis de glucógeno para obtener glucosa. Estas hormonas dependen de la secreción de ACTH (hormona adrenocorticotropina o corticotropina) que a su vez está controlada por la CRH (hormona liberadora de corticotropina). La secreción de estas dos hormonas precursoras puede llegar a suprimirse si la concentración plasmática de glucocorticoides es alta o puede potenciarse si la concentración de glucocorticoides es baja. De ahí el fenómeno de la retroalimentación.

El cortisol es el principal glucocorticoide que se incrementa de forma notable ante situaciones de estrés (inmunosupresión). La hiposecreción de cortisol se conoce como *enfermedad de Addison* y la hipersecreción *síndrome de Cushing*.

- **Los Mineralcorticoides:** El principal mineralcorticoide es la aldosterona. La función principal de estas hormonas es garantizar que el cuerpo no pierda una gran cantidad de sodio a través de la orina ocasionando una bajada drástica de la presión sanguínea, de manera que se ponga en riesgo la propia vida del individuo. Este tipo de hormonas regulan, por tanto, el metabolismo de sodio y potasio, controlan el volumen sanguíneo y regulan la presión arterial.
- **Adrenalina y Noradrenalina:** Su principal función es la de preparar al organismo para un esfuerzo importante, y junto con los glucocorticoides son las hormonas liberadas en situaciones de estrés

### Respuesta fisiológica de estrés e implicaciones conductuales

Tal y como se ha mencionado, la liberación de estas hormonas se encuentra relacionada con el estrés. En las situaciones estresantes, las cuales el organismo percibe como amenazas, la liberación de estas hormonas permite incrementar el aporte de glucosa a las neuronas, así como, a la musculatura cardíaca y esquelética para que los órganos que van a tener que responder y

actuar en esas situaciones sean capaces de hacerlo de la manera más eficiente posible (por ejemplo, facilitando el movimiento y la atención).

Además, se sabe que los glucocorticoides suprimen la respuesta del sistema inmunitario y tienen efectos antiinflamatorios. Esto puede ser muy beneficioso, a nivel de tratamiento, en casos como trasplantes o alergias. Sin embargo, el aumento de los glucocorticoides en las situaciones estresantes (o en periodos de mucha tensión) se encuentra directamente relacionado con una mayor susceptibilidad a sufrir enfermedades.

Las implicaciones conductuales de estas hormonas son esenciales ya que nos permiten reaccionar de manera eficiente ante situaciones de amenaza o peligro. Sin olvidar que periodos elevados de secreción de glucocorticoides acarrearán problemas a nivel de salud en el individuo, llegando incluso a darse muerte neuronal.

## Tema 5. Eje hipotálamo-hipofisario-gonadal

### Eje Hipotálamo Hipofisario Gonadal. Testículo y ovario

El eje Hipotálamo-Hipofisario-Gonadal (HHG) es un sistema de retroalimentación entre el hipotálamo, la hipófisis y las gónadas. En este caso, el hipotálamo secreta GnRH que es la hormona liberadora de gonadotropinas, que llega a la hipófisis donde estimula la secreción de gonadotropinas FSH y LH, las cuales ejercerán efecto en las gónadas, bien en los testículos, bien en los ovarios.

Los testículos son glándulas bilaterales presentes en los machos. En la mayoría de las especies estas glándulas se encuentran en dos bolsas externas llamadas escroto. Los testículos poseen tubos seminíferos agrupados que son los encargados de producir los espermatozoides. Y esos tubos se encuentran rodeados por un tejido donde se localizan las principales células productoras de hormonas: Células Leydig.

Los ovarios son dos glándulas localizadas en la cavidad abdominal de las hembras cuya función es la producción de gametos y la síntesis de hormonas esteroideas. En la capa más externa se encuentran los ovocitos, los cuales permitirán el desarrollo de los óvulos.

Principales hormonas gonadales, funciones fisiológicas, implicaciones en el desarrollo y características sexuales

Los andrógenos son las hormonas liberadas por las *células de Leydig* de los testículos, siendo la **testosterona** una de las más importantes, aunque no la única. Los andrógenos, regulados por el hipotálamo y la adenohipófisis (LH), poseen diferentes funciones. Por un lado, su función es la de regular ciertos procesos relacionados con la función reproductora, como por ejemplo la espermatogénesis. Además, son los responsables de inducir el desarrollo de las características masculinas, tanto a nivel embrionario como en la pubertad.

Los ovarios a su vez también producen una gran cantidad de andrógenos que son, en este caso, los precursores de los estrógenos junto con unas enzimas que permiten convertir la testosterona en estradiol. También se encargan de secretar progesterona.

La principal función de los estrógenos es la de preparar el aparato genital femenino para la ovulación y la fecundación. Además, intervienen en el metabolismo de las grasas y el colesterol, disminuyen la tensión arterial, distribuyen la grasa corporal, protegen los huesos y, junto a los andrógenos, estimulan la libido. En el caso de la progesterona, su función durante el ciclo menstrual es acondicionar el endometrio para facilitar la implantación del embrión en este, y durante el embarazo ayuda a que transcurra de manera segura.

Estas hormonas gonadales contribuyen al desarrollo de características sexuales a nivel embrionario, permitiendo la diferenciación de tejidos y órganos necesaria para el desarrollo de un macho o hembra. En la pubertad la secreción de estas hormonas permitirá la producción de óvulos y espermatozoides haciendo fértiles a hembras y machos.

### El ciclo menstrual

El ciclo menstrual es un ciclo de duración aproximada a 28 días, donde el organismo libera diferentes hormonas que producen diversos cambios fisiológicos. Es un proceso cíclico donde se desarrolla un ovocito el cual es expulsado del ovario mediante el proceso de ovulación. La ovulación divide a este proceso en dos fases: la fase folicular (días 1-14) y la fase lútea (días 15-28) (Figura 3).

**Fase Folicular.** Durante este período se produce la maduración del ovocito. La maduración de esta célula provoca un incremento exponencial de los niveles estradiol en el período final de esta primera fase, y la adenohipófisis responde con el máximo incremento de las gonadotropinas LH y FSH. Este proceso alostático permite la expulsión del ovulo u ovulación.

**Fase Lútea.** El ovulo se dirige a través de las trompas de Falopio hacia el útero quedando expuesto para ser o no fecundado. El ovulo deja tras de sí el folículo que lo contenía en el ovario, que se transforma en el denominado “cuerpo lúteo”, y que será el principal productor de progesterona, además de estradiol. Así, durante esta fase se incrementarán los niveles de estas dos hormonas que preparan el útero para la posible implantación del cigoto, incrementando el endometrio. Si se produce la fecundación, estas dos hormonas mantendrán elevados sus niveles inhibiendo así la liberación de gonadotropinas por parte de la hipófisis anterior y frenando así el ciclo durante todo el proceso de gestación; si no se produce la fecundación, se reducirán los niveles de estradiol y progesterona y comenzará un nuevo ciclo.

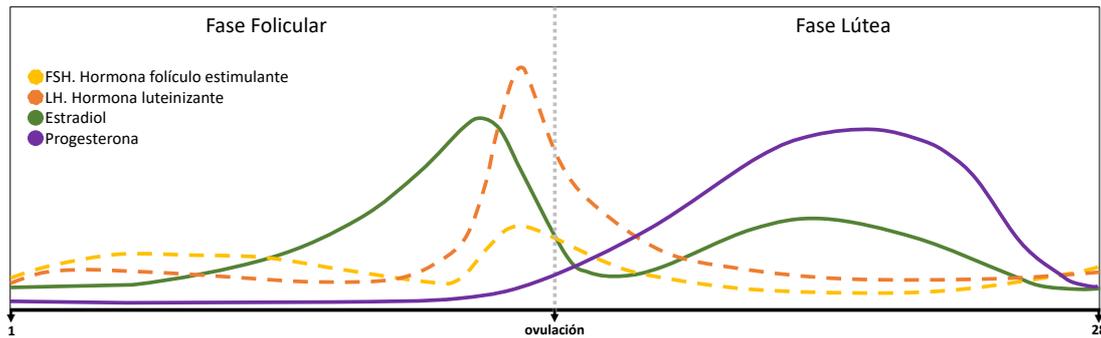


Figura 3. Niveles hormonales en ciclo menstrual. Imagen de los autores

### Efecto de las hormonas gonadales sobre la conducta sexual

Tal y como se ha comentado en este epígrafe, a partir de la pubertad, las hormonas gonadales ejercen una acción facilitadora (efectos activadores) sobre el sustrato neural, promoviendo la excitación sexual y la respuesta hacia la pareja.

La conducta sexual femenina es estimulada por el estradiol y la progesterona, por lo que en la etapa ovulatoria, cuando los niveles de ambas hormonas son altos, la mujer es más susceptible a una relación amorosa y está más dispuesta a una relación sexual. A diferencia de la mujer, en el hombre adulto no hay grandes fluctuaciones cíclicas en los niveles de testosterona, por lo que su líbido y potencia sexual se rigen además de la testosterona por otros factores tanto biológicos como psicosociales.

## Tema 6. Otras glándulas. Epífisis. Páncreas y Paratiroides. Hormonas principales. Efectos sobre la conducta

Otras glándulas: Epífisis. Páncreas y Paratiroides. Hormonas principales y sus efectos sobre la conducta

La glándula pineal o epífisis está formada por un grupo de células que se localizan en el centro del encéfalo y producen melatonina. La melatonina es una hormona que juega un papel importante en el sueño. La producción y liberación de melatonina en el cerebro está relacionada con la hora del día, es decir que aumenta cuando está oscuro y disminuye cuando hay luz. La producción de melatonina disminuye con la edad.

El páncreas es una glándula localizada en el abdomen. Produce los jugos pancreáticos, que contienen enzimas que ayudan a la digestión, y segrega la insulina, glucagón y somatostatina. Estas se localizan en unas pequeñas acumulaciones de células denominadas Islotes de Langerhans.

- **Insulina:** ayuda a la glucosa a circular desde la sangre hasta las células donde se utiliza para obtener energía (reduce el nivel de glucosa). Su función principal es

transformar ese exceso de glucosa tanto en glucógeno, en el hígado y en el músculo, como en grasa. Su hiposecreción causa diabetes.

- **Glucagón:** se libera cuando los niveles de glucosa en sangre están bajos. El glucagón le indica al hígado que debe enviar glucosa al flujo sanguíneo (incrementa el nivel de glucosa). También actúa sobre el tejido adiposo aumentando la movilización de los ácidos grasos para ser utilizados como combustible.
- **Somatostatina:** inhibe la secreción de glucagón y de insulina

Las paratiroides son cuatro glándulas que se encuentran en el cuello y producen la hormona paratiroidea, que ayuda al cuerpo a mantener el equilibrio entre el calcio y el fósforo. El calcio es un mineral que mantiene los huesos y los dientes sanos y fuertes. También es esencial para el buen funcionamiento de los nervios, los músculos y el corazón. Si estas producen cantidades excesivas o muy bajas de hormonas el equilibrio puede verse alterado y causar problemas de salud.