



## LAS FUNCIONES DE RELACIÓN

### TEMA 7. SISTEMA NEUROENDOCRINO

#### 7.1. INTRODUCCIÓN.

Las funciones de relación son aquellas mediante las cuales los organismos captan información del ambiente y a partir de ella responden adecuadamente y esto les permite sobrevivir. Hay que entender ambiente como todo lo que rodea a las células y por eso debemos incluir tanto el *medio externo* como el *medio interno* de cada individuo.

Las respuestas a los estímulos ambientales **externos** constituyen el **comportamiento**; las respuestas a los estímulos del ambiente **interno** (medio interno) constituyen la **homeostasis**.

La eficacia de las respuestas, de uno y otro tipo, dependerá de los **mecanismos de integración** llevados a cabo en la mayor parte de los animales pluricelulares por los sistemas nervioso y endocrino, que reciben información de cualquier cambio que se produzca en el medio interno o en el ambiente que rodea al ser vivo.

El sistema nervioso y el sistema endocrino trabajan de manera conjunta y, en realidad, se encuentran estrechamente relacionados formando uno solo: el **sistema neuroendocrino**.

#### 7.2. EL SISTEMA NERVIOSO HUMANO

Comenzaremos su estudio con la descripción de las células que forman el tejido nervioso, para seguir con la fisiología de las neuronas: la producción y transmisión de impulsos nerviosos dentro de cada célula y entre ellas (sinapsis).

Hay que recordar que definimos **sistema** como un conjunto de órganos que realizan una misma función, formados básicamente por un solo tipo de tejido. Un aparato también es un conjunto de órganos pero, formados por multitud de tejidos diferentes (por ejemplo el aparato digestivo). El sistema nervioso está formado por células muy especializadas consideradas como tejido nervioso y, aunque hay muchos tipos celulares, la misión fundamental es la transmisión de impulsos nerviosos. Distinguiamos dos grandes grupos de células: las células gliales y las neuronas.

##### **Células gliales o células de la glía**

Constituyen el soporte de las neuronas. Tienen múltiples funciones. Se dividen a su vez en dos grupos:

**Neuroglía**, la forman células de aspecto estrellado que cumplen las siguientes funciones: **Estructural**, como soporte de las neuronas, ya que forman una cubierta aislante sobre las ramificaciones de aquéllas. **Reparadora**, pueden dividirse y ocupar el lugar de las neuronas que mueren, aunque solo en algunos casos se transforman en ese tipo celular. **Nutricia**: ciertas células de la neuroglía rodean los capilares que circulan por entre el tejido nervioso constituyendo la llamada **barrera hematoencefálica**. Podría decirse que más que nutrir, en realidad lo que hacen es seleccionar cuidadosamente lo que puede y no puede entrar; se trata por lo tanto de una función de **nutrición-protección**. [Las drogas son drogas porque se saltan esta barrera].

**Microglía**, son células de tamaño muy pequeño que tienen una función defensiva y de limpieza de los productos de desintegración del sistema nervioso al fagocitar gérmenes y moléculas que hayan podido atravesar la barrera hematoencefálica. Su misión es la misma que la de los glóbulos blancos, dado que estos no entran en el sistema nervioso (la barrera hematoencefálica lo impide).

## La barrera hematoencefálica

Las neuronas sólo pueden utilizar glucosa como combustible metabólico y precisan el aporte continuo de este nutriente y de oxígeno. Las neuronas son grandes consumidoras de energía.

El cerebro depende enteramente del metabolismo oxidativo (es decir, las neuronas, en ausencia de oxígeno no pueden hacer fermentación, tal y como sucede en las células musculares estriadas): si se interrumpe el aporte de sangre oxigenada, se pierde el conocimiento al cabo de apenas 10 segundos y pasados unos 2 minutos puede producirse una lesión cerebral permanente. Ocurren efectos similares si por cualquier causa se interrumpe el aporte de glucosa (por ejemplo el shock hipoglucémico que aparece en los diabéticos cuando por error se inyectan una sobredosis de insulina y desciende bruscamente el nivel de glucosa en la sangre).

El gasto energético que realiza el encéfalo es mayor que el de cualquier otro órgano y requiere gran irrigación sanguínea: una extensa red de vasos y capilares sanguíneos recorre el encéfalo hasta sus más recónditos lugares. (Estudiar adelgaza y pensar calienta la cabeza).

Pero la elevada sensibilidad de las neuronas, en comparación con otras células, hace necesario un ambiente especial. El medio interno que las baña debe tener una composición particular y estar exento de sustancias que puedan resultar tóxicas. Esta especial sensibilidad es la razón por la cual el encéfalo se halla aislado de la circulación general mediante un sistema de **filtración selectiva** denominado barrera hematoencefálica. Y así, todos los capilares están rodeados por células de la microglía que seleccionan lo que puede pasar y lo que no a las células del encéfalo.

El sistema inmunitario no atraviesa la barrera hematoencefálica, de modo que si consigue penetrar algún microorganismo serán las células de la microglía las que tendrán que anularlo. Sin embargo, ciertas sustancias sí pueden saltarse la barrera y por eso producen efectos importantes sobre el sistema nervioso (alcohol, heroína, cocaína, anfetaminas, cafeína, nicotina, muchos medicamentos...) son conocidas como drogas.

## Neuronas

La neurona es la unidad anatómica y fisiológica del sistema nervioso. Son células de aspecto estrellado, de tamaños y formas muy diferentes según los casos, pero todas tienen un cuerpo celular, llamado **soma**, del que surgen dos tipos de ramificaciones: las **dendritas**, cortas, muy ramificadas y numerosas, y el **axón** o **cilindroeje**, más largo, sólo ramificado en su extremo final y único.

El **soma** o cuerpo celular tiene muy desarrollados todos los orgánulos característicos de las células muy activas: retículo endoplasmático, mitocondrias, núcleo, ribosomas, etc.; pero **son células que no se dividen**, de ahí que las lesiones (ya sean cerebrales, medulares o de nervios) que implican destrucción de neuronas sean irreversibles pues el tejido no se regenera. Esta pérdida de la capacidad reproductora se produce como consecuencia del proceso de diferenciación celular. (Los estudios con células madres pretenden, entre otras cosas, lograr células nerviosas que replacen a otras dañadas y responsables de graves enfermedades como Parkinson o Alzheimer. Por otra parte, en los últimos años, se ha visto que ciertas células de la glía pueden diferenciarse en neuronas funcionales, si bien no hay cantidad suficiente para arreglar una lesión).

El **axón** o **cilindroeje** es una prolongación larga y fina, existe uno sólo por célula y puede llegar a alcanzar más de un metro de longitud (en humanos). Su función es la de transmitir el impulso nervioso desde la neurona que lo posee hasta otras. Se encuentra muy ramificado en su extremo, denominado *telodendron*.

Las **dendritas** son prolongaciones cortas y numerosas que parten del soma y que dan a la neurona un aspecto arborescente (*dendron* = árbol). Su función es la de recibir el impulso nervioso procedente de los axones de otras neuronas.



La mayoría de las neuronas posee los axones recubiertos por unas células muy especializadas llamadas **células de Schwann**, que contienen el fosfolípido **mielina**. La función de estas vainas es la de permitir al impulso nervioso circular a más velocidad y economizar energía. (Dibujar).

El tejido nervioso es de los más hidratados que poseemos y sus células las más difíciles de identificar por ser prácticamente incoloras y por presentar muy poca afinidad por los colorantes citológicos normales. La observación y clasificación de las mismas fue llevada a cabo a comienzos del s. XX por el médico español D. Santiago Ramón y Cajal, que diseñó colorantes y métodos de tinción nuevos.

## TIPOS DE NEURONAS

Las neuronas pueden clasificarse por su forma, pero es más interesante hacerlo según su función:

**1. Neuronas aferentes o sensitivas:** van transportando información sobre cualquier cambio interno o externo desde un receptor de estímulos hasta el sistema nervioso central (encéfalo o médula espinal) donde se analizará dicha información y se elaborará una respuesta. [Hay receptores de estímulos sensibles a la luz, al calor, a las vibraciones, etc.].

**2. Neuronas eferentes:** transmiten las respuestas elaboradas en el encéfalo o la médula espinal hasta los órganos efectores. Se dividen en:

Vegetativas, cuando inervan glándulas o músculos de contracción involuntaria (corazón, musculatura lisa del tracto digestivo y respiratorio, de las paredes de los vasos sanguíneos, etc.).

Motoras, si inervan músculos esqueléticos (células musculares estriadas) responsables de las contracciones voluntarias.

**3. Interneuronas o neuronas de asociación:** son neuronas que conectan a otras neuronas entre sí. En el caso más sencillo conectan una neurona sensitiva y otra efectora (estudiaremos el **arco reflejo**). Las interneuronas empiezan y terminan en el sistema nervioso central y constituyen aproximadamente el **97%** del total de las neuronas. La enorme complejidad de sus interconexiones en el cerebro (circuitos neuronales) genera todo el conjunto de respuestas a los estímulos recibidos, así como la memoria, el pensamiento, las emociones, la capacidad de aprendizaje y en general todas nuestras actividades mentales. No olvidemos, no obstante, que lo que nos diferencia del resto de los organismos e incluso de nuestros parientes primates no es más ni menos que un mayor número de neuronas y de conexiones entre ellas (más circuitos neuronales y más complejidad de los mismos).

[De los chimpancés, que son nuestros "primos" más cercanos (tuvimos un abuelo común hace solo seis millones de años), nos diferencia el tener la cabeza más gorda: Un kilo más de cerebro, solo eso, nada menos que eso].

Los cuerpos de las neuronas **eferentes** suelen estar alojados en el interior del sistema nervioso central, agrupados en el encéfalo o en la médula espinal, aunque a veces también se localizan en la periferia, agrupándose entonces en unas estructuras denominadas **ganglios nerviosos** (que no tienen nada que ver con los ganglios linfáticos, pero que como estos, son engrosamientos). Las neuronas **aferentes** tienen sus cuerpos en contacto con los receptores sensitivos y por lo tanto se sitúan en diferentes lugares (ojos, piel, etc.). La mayor parte de los receptores sensitivos son en realidad células nerviosas altamente modificadas.

Las **fibras nerviosas** son los axones de las neuronas y muchas de ellas se extienden por todo el cuerpo constituyendo el **sistema nervioso periférico**. Estas fibras se agrupan en haces o paquetes rodeados de tejido conjuntivo, formando lo que se denominan **nervios**. Pueden ser:

**Nervios sensitivos**, formados por fibras sensitivas (van hacia el sistema nervioso central).

**Nervios motores**, formados por fibras motoras (salen del sistema nervioso central y se dirigen a los órganos efectores).

**Nervios mixtos**, formados por ambos tipos de fibras. Constituyen la mayoría de los nervios del organismo.

## EL IMPULSO NERVIOSO

Todas las células, incluidas las neuronas, tienen una desigual distribución de iones a un lado y otro de la membrana citoplasmática. Esto conduce a la aparición de una diferencia de potencial entre el exterior y el interior de la célula, denominado **potencial de reposo**. Esta diferencia de potencial es del orden de -60 milivoltios (el signo es negativo porque dentro de la célula hay más cargas negativas que fuera). En el exterior de la célula predominan el  $\text{Na}^+$  mientras que dentro hay más  $\text{K}^+$  y proteínas cargadas negativamente.

La mayor abundancia de cargas positivas en el exterior de la célula se mantiene gracias a la denominada **bomba de sodio**, que está adosada a la membrana de la célula y que se encarga de sacar iones  $\text{Na}^+$  de la célula mediante **transporte activo**. Esto quiere decir que requiere un gasto energético en forma de ATP, ya que vamos a transportar una sustancia en contra de la dirección lógica (que sería de donde hay más a donde hay menos). Se puede decir que en reposo las células tienen su exterior cargado positivamente y su interior cargado negativamente.

El gran consumo energético del sistema nervioso es debido precisamente a la necesidad de mantener continuamente un elevado gradiente iónico entre el interior y el exterior de la membrana (una gran diferencia de concentración y de cargas eléctricas). La energía, en definitiva, sirve para transmitir los impulsos nerviosos y también para sintetizar un tipo de moléculas llamado *neurotransmisores*.

[La diferencia entre valores de concentración, de carga eléctrica, de presión, de temperatura, etc. recibe el nombre de **gradiente**; cuando decimos que una sustancia se mueve a favor de gradiente es que se dirige de donde hay más a donde hay menos. En estos casos podrá suceder libremente si puede atravesar la membrana celular sin problemas (transporte por difusión). En otros casos, ciertas moléculas no pueden atravesar la membrana sin más sino que deberán hacerlo por lugares concretos y con la ayuda de moléculas de membrana que faciliten el paso (transporte facilitado). Pero cuando una sustancia tenga que circular en contra de gradiente (de concentración o eléctrico) la célula deberá emplear mecanismos especiales en los que gasta energía: es el transporte activo. Por eso, al hablar de los fenómenos de ósmosis se dijo que las membranas celulares son semipermeables, pero que en determinadas circunstancias podían dejar entrar y salir selectivamente moléculas].

Algunos estímulos que afectan a las neuronas determinan que se altere el potencial de reposo, que desde -60 milivoltios puede pasar a +20 o +30 milivoltios. Esta variación brusca del potencial se denomina **potencial de acción** y conduce a la aparición de un impulso nervioso.

El potencial de acción es causado por una inversión de la polaridad o **despolarización** de la membrana neuronal, que queda cargada negativamente por fuera y positivamente por dentro, debido a una entrada masiva de  $\text{Na}^+$  dentro de la célula (se abren unos canales). Esta inversión de polaridad en la membrana se amortigua rápidamente al cerrarse los poros y al actuar la bomba de sodio, que devuelve los iones sodio al exterior y hace entrar potasio. La despolarización tiene lugar en un punto concreto de la membrana de la neurona y tiene la característica de ser un fenómeno de muy poca duración. Pero antes de producirse la **repolarización** en ese punto, se induce la despolarización de las zonas adyacentes de la membrana. Este efecto de despolarización-repolarización se transmite punto por punto a lo largo de toda la neurona constituyendo el **impulso nervioso**. [La membrana hace "la ola"].

Así pues esta característica, la excitabilidad, que es propia de las neuronas y que se concreta en el impulso nervioso, en principio no tiene una dirección definida: a partir del punto de estímulo, se transmite en todas direcciones. Pero la disposición espacial de las neuronas en el



individuo así como la transmisión del impulso entre ellas hace que en realidad la **conducción del impulso nervioso sea unidireccional**. Este hecho, que se estudia a continuación es el que explica por qué hay neuronas aferentes y eferentes (de ida y vuelta).

## LA SINAPSIS

Se denomina sinapsis a la *unión* entre dos neuronas y también al *modo de transmitirse el impulso* de una célula a otra. Se trata de una unión funcional pero no anatómica, ya que las dos neuronas no llegan a tocarse (fue descubierto por el premio Nobel Ramón y Cajal). En una sinapsis se distinguen las siguientes partes:

- El elemento presináptico, que es la porción terminal de la neurona que conduce el impulso antes de que éste salte a la otra neurona. El elemento presináptico lo constituyen las ramificaciones terminales de los axones de las neuronas (telodendron), que están dilatadas en su extremidad formando los llamados **botones terminales o sinápticos**.

- La hendidura sináptica es un espacio de unos 200 Å de anchura que hay entre el elemento presináptico y el postsináptico.

- El elemento postsináptico es la región de la neurona que recibe el impulso nervioso procedente del elemento presináptico, después de haber atravesado la hendidura sináptica. El elemento postsináptico está constituido por las dendritas (situadas en torno al soma).

En el interior de los botones terminales existen las vesículas sinápticas, que contienen los denominados transmisores químicos o **neurotransmisores** (acetilcolina, adrenalina, noradrenalina, dopamina, serotonina, etc.). La llegada de impulsos nerviosos al elemento presináptico determina que las vesículas sinápticas descarguen los transmisores químicos a la hendidura sináptica. En el elemento postsináptico existen receptores específicos de estos transmisores químicos que, al capturarlos, hacen que se altere la permeabilidad de la membrana postsináptica, produciendo una despolarización de la misma, que se transmite en forma de impulso nervioso como ya se ha estudiado. De esta manera, el impulso nervioso siempre circula desde las dendritas de una neurona hasta el extremo de su axón y no al revés (dibujos).

Los neurotransmisores se unen específicamente con sus receptores, localizados en la membrana de la célula postsináptica y generan un potencial de acción; pero inmediatamente se separan de los receptores y desaparecen, con el fin de que la célula pueda volver a excitarse. Para ello, o bien son recaptados por la célula presináptica para ser reutilizados en otra sinapsis, o bien se inactivan y degradan por medio de determinadas enzimas específicas para cada neurotransmisor.

## NEUROTRANSMISORES.

Un neurotransmisor es una sustancia que transmite los impulsos nerviosos en la sinapsis (entre neuronas), o entre un nervio y un músculo.

Existen gran cantidad de sustancias químicas que funcionan como neurotransmisores. Entre estas sustancias se encuentran la **acetilcolina**; ciertas aminas, tales como **noradrenalina, adrenalina, dopamina** y **serotonina**; ciertos aminoácidos, tales como el ácido gammaaminobutírico (**GABA**), la glicina y el glutamato.

[En Norteamérica se sustituye el nombre de adrenalina y noradrenalina por los de epinefrina y norepinefrina].

[Además de los neurotransmisores existen otras moléculas, principalmente pequeños péptidos, que también juegan un importante papel en la transmisión sináptica. Se trata de los neuromoduladores].

Si un neurotransmisor llega a un receptor de la neurona siguiente (elemento postsináptico), esta emitirá un nuevo impulso nervioso si estaba en reposo pero también puede darse el caso de que el neurotransmisor al llegar a un receptor "ordene" que cese la transmisión de impulsos nerviosos a través de la célula postsináptica (provoca una inhibición).

Los principales neurotransmisores del sistema nervioso periférico son la acetilcolina y noradrenalina.

[→La serotonina. El Prozac, Seroxat... son inhibidores de la recaptación de la serotonina  
¿Qué puede significar esto? →Las endorfinas: buscar información]

### TIPOS DE SINAPSIS.

La sinapsis es la unión especializada que se produce entre el axón de una neurona y las dendritas o cuerpo celular de otra neurona, donde la actividad de una influye en la actividad de la otra. Puede ser **química** o **eléctrica**, y a la vez **excitadora** o **inhibidora**.

#### **Sinapsis eléctrica**

En la terminal axónica de la *célula presináptica* (célula que transmite la información) se producen cambios en la concentración iónica, debido a la llegada de un potencial de acción. Estos iones fluyen hacia la *célula postsináptica* (célula que recibe la información), despolarizando su membrana e iniciando un nuevo potencial de acción. En este tipo de sinapsis ambas neuronas están en contacto físico, no existiendo hendidura sináptica. De esta forma se va transmitiendo el impulso nervioso de una neurona a la siguiente.

Este tipo de sinapsis es muy común en los vertebrados inferiores.

#### **Sinapsis química**

En este tipo de sinapsis las células o neuronas pre y postsinápticas no contactan entre sí físicamente, por lo que queda un espacio entre ellas conocido como *hendidura sináptica*. La información es transmitida por medio de neurotransmisores.

La sinapsis química tiene lugar en la mayoría de las conexiones entre las neuronas del sistema nervioso de los mamíferos (Es el tipo que se ha tratado anteriormente).

En las fibras miélicas (presentes en los vertebrados) la propagación del impulso nervioso es mucho más rápida que en las fibras amielínicas. La característica más importante de la vaina de mielina es que se encuentra interrumpida a intervalos regulares por aberturas, o *nodos* (el contacto entre cada dos células de Schwann). Así, en las fibras miélicas, el impulso o la onda de despolarización salta de un nodo a otro, en vez de moverse continuamente a lo largo de la membrana. Esto hace que no sea necesaria la despolarización en todos los puntos del axón, sino solo de los nodos. Esta conducción saltatoria aumenta en gran medida la velocidad y requiere menos gasto de energía.

Una fibra nerviosa miélica grande, puede conducir impulsos tan rápido como a 200 metros por segundo y además hay un gran ahorro en la bomba sodio-potasio, ya que los iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  solo se mueven a través de una pequeña porción de la membrana del axón.

Una neurona puede mantener sinapsis con otras muchas (¡varios miles!). Hay sinapsis (y neurotransmisores) que *estimulan* el impulso nervioso en la siguiente neurona y otras que *inhiben* la transmisión del impulso nervioso en la neurona con la que contactan.

### SISTEMA NERVIOSO

Para realizar todas sus labores (transmisión de información desde los receptores, análisis y elaboración de respuestas y envío de las respuestas a los órganos efectores), el sistema nervioso cuenta con **centros nerviosos y nervios**. De modo clásico distinguimos entre:

**Sistema Nervioso Central (S.N.C.).** Es donde se lleva a cabo la integración de toda la información recogida en el medio externo (estímulos) y se elaboran las respuestas. Consta del **encéfalo** y la **médula espinal**.

**Sistema Nervioso Periférico.** Está formado por los nervios que conectan las células captadoras de estímulos y los órganos efectores con el S.N.C.



**Sistema Nervioso Vegetativo o autónomo.** Es el encargado del control de procesos y actividades involuntarias. En realidad está constituido por centros nerviosos situados dentro del S.N.C. (que reciben información de los estímulos internos, la analizan y elaboran respuestas) y por nervios aferentes, eferentes y mixtos.

Esta clasificación es un tanto artificial ya que todas las partes están interrelacionadas.

## **SISTEMA NERVIOSO CENTRAL**

El S.N.C. se origina en el embrión como un tubo cerrado por sus extremos que corre por toda la región dorsal (futura espalda). El desarrollo del embrión afecta también a este tubo que se va diferenciando en regiones que se engruesan y especializan en funciones concretas. La zona anterior se desarrolla en gran medida originando el encéfalo y el resto constituirá la médula espinal.

Al final del desarrollo, el encéfalo ha quedado subdividido en varias regiones y se ha hipertrofiado, pero tanto a él como a la médula espinal les quedan vestigios embrionarios: el primero presenta cuatro cavidades comunicadas llamadas **ventrículos cerebrales** y a la médula espinal le queda un fino canal llamado **epéndimo**. Todas estas cavidades están rellenas por un líquido del medio interno llamado **LCR o líquido cefalorraquídeo**.

## **ENCÉFALO**

En él se encuentran todos los centros de integración (de recogida de información) y coordinación (de emisión de respuestas complejas), tanto voluntarios como involuntarios. Se encuentra alojado en el interior del cráneo, que es un auténtico casco de seguridad (salvo para caídas de moto o de andamio) y se continúa con la médula espinal saliendo de la cabeza por un gran orificio situado en la base del cráneo [llamado "foramen magnum"].

El encéfalo humano es proporcionalmente el más grande de todos los conocidos en especies animales actuales. Su media se halla en unos 1.400 c.c. (se estima el volumen ya que resulta más fácil hacer la medición del cráneo que pesar el propio encéfalo, algo imposible cuando se analizan restos fósiles). [Sólo la especie de *Homo neanderthalensis* tenía un encéfalo mayor que el nuestro y curiosamente parece que no le fue "suficiente" para sobrevivir hasta nuestros días].

El encéfalo posee una superficie muy rugosa, con surcos más o menos profundos. En un corte se aprecia una capa externa y fina llamada **sustancia gris** por su color, formada por somas neuronales y una parte interna de color blanco, **sustancia blanca**, formada por los axones o fibras de las neuronas de la corteza recubiertas con vainas de mielina (de ahí el color).

Tanto el encéfalo como la médula espinal están protegidos por tres membranas o capas de tejido conjuntivo, **las meninges**, muy irrigadas (muchos vasos sanguíneos) y con líquido cefalorraquídeo entre dos de ellas. (Son, de dentro afuera, la Piamadre, la Aracnoides y la Duramadre. El LCR se halla entre la aracnoides y la piamadre).

De distintas regiones del encéfalo parten **12 pares de nervios craneales** que contienen axones de neuronas aferentes y eferentes del S.N.C. y del sistema nervioso vegetativo (en muchos casos, los nervios son mixtos y contienen neuronas de los tres tipos). El encéfalo está diferenciado en regiones con funciones específicas. Todos los vertebrados poseemos las mismas partes pero desarrolladas de diferente manera.

## **Regiones o partes del encéfalo.**

Distinguimos: telencéfalo, diencéfalo, mesencéfalo, cerebelo y bulbo raquídeo.

### **Telencéfalo o cerebro.**

Es la parte más desarrollada en los mamíferos y particularmente en los humanos. Presenta, al igual que el cerebelo, su superficie arrugada. Las rugosidades o **circunvoluciones** suponen un

aumento de la superficie o lo que es lo mismo, un aumento del número de neuronas (hay que añadir, por lo tanto, al gran volumen cerebral el aumento de la superficie del mismo).

El cerebro aparece dividido en dos **hemisferios cerebrales** por un profundo surco longitudinal. Las dos mitades están conectadas por una zona más profunda, llamada **cuerpo calloso**. A la sustancia gris se la denomina también **corteza cerebral**. En el cerebro se elaboran las respuestas más complejas de la persona así como la interpretación de las sensaciones. También allí radica la memoria, la inteligencia, la imaginación, los sentimientos (odio, amor, compasión, miedo, etc.), la conciencia y, en definitiva, lo poco o mucho que nos diferencia del resto de los animales.

Existen zonas o áreas cerebrales donde se analizan las informaciones recogidas por receptores de distinto tipo. Por ejemplo, hay una corteza visual que analiza los impulsos nerviosos procedentes de las retinas de los ojos; una corteza olfativa; una corteza del lenguaje que comprende los sonidos de un idioma, otra que procesa la información leída; otra que permite la articulación de los sonidos que constituyen el habla, etc. Otras cualidades no parecen situarse en ninguna área concreta, tal y como le sucede a la memoria (en realidad hay muchos tipos de memoria y algunos de ellos sí están localizados).

### **Diencefalo.**

Se encuentra bajo el telencéfalo, ya que en los humanos es tan grande que está replegado y lo cubre por completo. Está constituido, de arriba a abajo por el epítalamo, el tálamo y el hipotálamo.

El **epítalamo, epífisis o glándula pineal** está formada por un tejido nervioso especial que produce una hormona, la **melatonina**. Esta hormona se segrega durante la noche, y así se producen diferentes cantidades a lo largo del año en función del número de horas de luz y oscuridad que presente el día. En animales no humanos esta hormona regula actividades estacionales tales como el cambio de pelaje o plumaje, la maduración de los órganos sexuales, el desarrollo de caracteres sexuales secundarios (formación de astas en los ciervos), el desencadenamiento de conductas reproductoras, etc. ¡la primavera la sangre altera! [→ "tercer ojo" de la tuatara] [Ritmo circadiano o reloj biológico].

En los humanos los efectos no están tan claros. Parece que puede influir en el estado de ánimo. En U.S.A. se ha puesto de moda tomar melatonina para mejorar el humor y tener una sensación de bienestar ("hormona de la felicidad"). No se conocen los efectos que podrá tener a largo plazo. También existen unas viseras que emiten una luz y que se emplean en regiones próximas al círculo polar ártico, donde durante seis meses no se ve la luz del Sol y para prevenir trastornos de sueño y de ánimo producidos por la desregulación de la melatonina (Tampoco se sabe si realmente resulta eficaz).

El **tálamo** está constituido por centros nerviosos que se relacionan con el control de las emociones, de la memoria, de las sensaciones, del dolor... Muchos de los nervios que llegan o salen de la corteza pasan por el tálamo.

El **hipotálamo** tiene una función neuroendocrina. Segrega hormonas y envía impulsos nerviosos a una glándula situada bajo él, la **hipófisis** o **glándula pituitaria** (pituitaria = que segrega). Pero además, en el hipotálamo se encuentran los centros nerviosos donde se crea la sensación del hambre, de la sed, de la saciedad, el control del sueño y de la vigilia, y del impulso o deseo sexual. También posee el termostato o centro de control de la temperatura corporal. Directamente, el hipotálamo segrega dos hormonas: la ADH u hormona antidiurética o vasopresina y la oxitocina (responsable entre otras cosas de las contracciones del parto) y que se acumula en la hipófisis. El hipotálamo también ejerce un control sobre el sistema vegetativo.





### **Mesencéfalo.**

Está constituido sobre todo por vías de comunicación que unen diferentes zonas del encéfalo. Además hay centros relacionados con el procesamiento de datos del sentido de la vista y de la audición.

### **Cerebelo.**

Se encuentra por debajo y detrás del cerebro, presentando un aspecto parecido a éste, ya que tiene la superficie arrugada y de sustancia gris, y un interior de sustancia blanca. Está subdividido en dos hemisferios cerebelosos. Su función es la de coordinación neuromuscular. Esto significa que cualquier orden motora dictada por la corteza cerebral pasará por el cerebelo donde será ajustada para darle precisión. Pensemos en la simple acción de coger un vaso con agua y llevarlo a la boca: se ponen en marcha decenas de músculos, hay que mover el brazo hasta aproximar la mano. Luego utilizando la información que nos brinda el sentido de la vista calculamos la distancia a la que se halla el vaso y una vez llegado hasta él, hay que cerrar la mano con cuidado, sin ejercer demasiada presión, pero sí la suficiente para que no resbale... Esto, que parece una tontería, es una compleja maniobra en la que intervienen millones de neuronas y cientos de nervios que activan los músculos en la medida y en el momento justos. Pues bien, sin la intervención del cerebelo, el movimiento sería burdo, es decir, no tendría precisión ni soltura (pareceríamos robots descontrolados).

Hay una relación directa, dentro de los vertebrados, entre tamaño del cerebelo y actividad muscular compleja. Así, las aves y los mamíferos voladores son los que lo tienen más desarrollado, habida cuenta que volar no es cosa fácil y hace falta un control muy fino en el manejo de las alas y la cola.

El cerebelo recibe información (vías sensitivas) del órgano del equilibrio, ya que el mantenimiento de la postura corporal y de la orientación es otra función de esta parte del encéfalo (significa un control fino del tono muscular de decenas de músculos) [Piensa en todos los músculos que están en funcionamiento solo estando de pie sin moverte].

### **Bulbo raquídeo.**

El bulbo raquídeo es la porción última del encéfalo, que como ya sabemos por su embriogénesis, se continúa sin interrupción con la médula espinal. Fundamentalmente está constituido por fibras neuronales de subida y bajada, o lo que es lo mismo, axones de neuronas procedentes de otras regiones del encéfalo o de la médula. Pero el bulbo, además, posee centros nerviosos (neuronas de asociación) encargados de misiones importantes, como el centro del latido cardíaco o los centros de la ventilación pulmonar, que regulan respectivamente la velocidad de contracción del corazón y los movimientos alternativos de inspiración y espiración. Además, también radica en el bulbo el centro productor del reflejo de la deglución, el de la tos y el estornudo y el del vómito, así como el de la contracción y dilatación de los vasos sanguíneos (arteriolas y vénulas).

El extremo final del bulbo raquídeo se halla fuera del cráneo, entre las primeras vértebras cervicales de la columna vertebral (= raquis), por eso, una mala caída con "rotura del cuello" puede tener como consecuencia la muerte por parada cardiorrespiratoria, al lesionarse el bulbo. Ese es el final también de los toros cuando se les da la "puntilla". [Bulbo= recuerda a un bulbo vegetal, una cebolla por ejemplo; Raquídeo=raquis=espina, ya que se comunica con la médula espinal o espina dorsal].

## MÉDULA ESPINAL.

La médula espinal es un cilindro que se encuentra alojado en el interior de la columna vertebral (dibujar). Se encuentra rodeada por las tres meninges ya mencionadas con L.C.R. entre dos de ellas. En una sección transversal de médula espinal podemos distinguir los siguientes elementos:

**Sustancia gris**, que al revés que en el encéfalo, ocupa la parte central del cilindro y tiene la forma de una mariposa, denominándose astas a las prolongaciones con forma de alas. Está formada por cuerpos neuronales.

**Sustancia blanca**, que rodea a la sustancia gris y que está formada por axones recubiertos de mielina. Estos axones se dirigen o proceden del encéfalo o también en zonas diferentes de la médula espinal.

**Epéndimo**, que es el conducto central de la médula espinal, relleno de L.C.R.

De las paredes laterales de la médula espinal parten los nervios raquídeos (periféricos unos y del sistema vegetativo otros). La mitad izquierda y la derecha son simétricas; de cada lado salen dos nervios, uno de la zona ventral, que contiene axones de neuronas motoras (vías de salida) y otro dorsal que contiene axones de neuronas sensitivas (vías de entrada). Por lo tanto, la sustancia gris es donde se encuentran los cuerpos de las neuronas motoras así como de las de asociación. Tanto el nervio de entrada como el de salida se unen a pocos centímetros de la médula en un único nervio mixto (hay en ese nervio neuronas del SNC y del SN vegetativo). A medida que la médula espinal descende, va emitiendo nervios y en consecuencia disminuye de diámetro. [Sabido hacer el dibujo se entiende fácilmente lo que aquí se expone]

La médula espinal tiene como principal función canalizar todos los nervios que parten o que se dirigen desde el encéfalo a todos los lugares del organismo, es por lo tanto una **vía de comunicación** pero además es responsable de los **arcos reflejos** que son un tipo de respuesta simple y muy rápida.

El arco reflejo es una respuesta sencilla que tiene la ventaja de la rapidez. En este mecanismo, totalmente automático o involuntario, pueden intervenir un mínimo de tres neuronas: una neurona sensitiva, una neurona de asociación y una neurona motora. La primera de ellas recoge información del exterior, y la lleva hasta la médula espinal donde contacta con una neurona de asociación que hace sinapsis con una neurona motora. Pensemos en la siguiente situación: estamos distraídos y alguien nos pincha en un brazo. Antes de que seamos conscientes del dolor, antes de que sepamos qué es lo que nos ha ocurrido, quién ha sido el responsable y antes de que nos volvamos hacia él y le demos una bofetada o le dirijamos un insulto, habremos apartado el brazo del estímulo doloroso. Por ello, los reflejos generados en la médula espinal tienen una buena razón para existir: rapidez en la respuesta. No obstante, a la vez que se hace sinapsis con la neurona de asociación que contactará con la motora, se envían señales a otras neuronas de asociación que llevarán la información al sistema nervioso central. De hecho, esto es lo que pasa y la respuesta llega a ser muy elaborada y compleja. Pero para cuando esto haya ocurrido, el reflejo ya nos ha puesto a salvo. [La realidad es que intervienen siempre más de 3 neuronas]

## SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO

El sistema nervioso periférico se encarga de conectar las células receptoras con los centros nerviosos y estos con los órganos efectoras. Los haces o paquetes de axones de células del primer tipo forman **nervios sensitivos** y los del segundo (neuronas eferentes) constituyen los **nervios motores**. Son, sin embargo, más frecuentes los **nervios mixtos**, que contienen axones de neuronas de ambos tipos ("de ida y de vuelta"). Según su origen los nervios del sistema periférico pueden ser:

**Nervios craneales.** Parten de diferentes centros del encéfalo. En los mamíferos hay doce pares y los hay motores, sensitivos y mixtos. Se encargan de inervar (comunicar) diferentes zonas



de la cabeza y algunos órganos internos. (Por ejemplo, par I: nervio olfatorio (sensitivo); par II: nervio óptico (sensitivo); par V: nervio trigémino (mixto); nervio X: nervio Vago (mixto)... Ver diapositiva.

**Nervios raquídeos o espinales.** Parten de distintos tramos de la médula espinal y todos son de tipo mixto. Salen por entre cada dos vértebras y a cada lado de la columna vertebral (ver esquemas). En los humanos hay **31 pares** [8 pares cervicales, 12 pares dorsales, 5 pares lumbares y 6 pares de sacros]. Los nervios espinales de la región sacra reciben el nombre de "cola de caballo" (cauda equina) por el aspecto deshilachado del extremo final de la médula espinal.

### **SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO O VEGETATIVO**

Este sistema se encarga de controlar todas aquellas funciones que son involuntarias, tales como la contracción de la musculatura lisa, la del músculo cardíaco, y la secreción de las glándulas. También recibe información de los órganos internos. El sistema nervioso vegetativo está formado por nervios y por ganglios además de centros específicos situados dentro del propio sistema nervioso central. Muchos de estos nervios forman parte de nervios mixtos del sistema nervioso periférico. Los ganglios son abultamientos de los nervios vegetativos formados por cuerpos neuronales de las neuronas que forman el nervio (podría servir como símil las cajas de empalme que se encuentran en las casas donde unas fichas de conexión unen cables de distintas procedencias). Debe insistirse en que el criterio de clasificación del sistema nervioso en "central, periférico y vegetativo" es puramente práctico, pero no es lógico ni real: muchos de los nervios (sist. periférico) llevan axones del sist. central y del vegetativo. El sist. vegetativo, como tal, no existe físicamente: en el propio encéfalo hay grupos de neuronas de asociación que controlan las funciones internas, involuntarias, pero no puede separarse del sist. central.

El sistema nervioso vegetativo cuenta con dos subsistemas de **efectos antagónicos** que son el S.N. simpático y el S.N. parasimpático. Ambos regulan las actividades de los órganos interiores dentro de lo que ya conocemos como homeostasia.

**S.N. simpático o toraco-lumbar.** Los nervios de este sistema proceden de los nervios raquídeos de la médula espinal de las regiones dorsal o torácica y lumbar. La misión del simpático es, en términos generales, preparar al organismo para una actividad extraordinaria, en definitiva, lo que se conoce como una **situación de estrés**, que supondrá una **respuesta de ataque o de huida**. Esta preparación incluye acelerar el ritmo cardíaco y el respiratorio, relajar la musculatura bronquial, relajar las arteriolas de los músculos esqueléticos y contraer las de otras zonas para aumentar el flujo sanguíneo en dichos músculos, dilatar las pupilas, acelerar las reacciones catabólicas para obtener energía... (La hormona adrenalina refuerza las acciones del sistema simpático y, al viajar por la sangre, acaba por llegar a todas partes).

Otros efectos producidos son: hace contraer los músculos horripiladores o erectores del pelo; estimula la liberación de glucosa en sangre (glucógenolisis hepática); produce constricción en las arterias viscerales; retirada de la sangre de debajo de la piel; relajación de los esfínteres anales y urinarios; inhibe la motilidad intestinal o peristaltismo, aumento del tono muscular; estimulación de las cápsulas suprarrenales para que liberen adrenalina y glucocorticoides; estimulación de las glándulas sudoríparas... en una palabra, nos prepara ante una situación de emergencia en la que puede suceder cualquier cosa.

**S.N. parasimpático o cráneo-sacro.** Los nervios del parasimpático forman parte de los nervios craneales y de los nervios sacros de la médula espinal (sistema cráneo-sacro). Las funciones que realiza están encaminadas a recuperar al organismo tras una situación de estrés y, en cualquier caso, fomentan la economía del organismo. Para ello, este sistema, actúa sobre el corazón para hacerle disminuir el ritmo, igualmente hace disminuir el ritmo ventilatorio, disminuye la vasodilatación de las arterias musculares, aumenta el peristaltismo intestinal para que la digestión, antes paralizada, vuelva a ponerse en marcha, contrae las pupilas, promueve las reacciones anabólicas y frena las catabólicas y contrae los esfínteres anal y uretral.

En situaciones "normales" ambos sistemas envían impulsos nerviosos a las vísceras, de modo que uno tiende a acelerar y el otro a frenar: los **efectos antagónicos** mantienen el equilibrio en el organismo [semejante a como la insulina y el glucagón mantienen los niveles de glucemia].

Aunque suelen resumirse las acciones de estos dos sistemas diciendo que el simpático acelera y el parasimpático frena, no es del todo correcto ya que el simpático frena la actuación del aparato digestivo y el parasimpático la acelera. Es mejor no olvidar que el primero prepara el organismo ante una situación de estrés y el segundo vuelve al cuerpo a las condiciones "normales".

La famosa máquina de la verdad o polígrafo registra cambios en la conductividad eléctrica de la piel (respuesta galvánica) que se dan cuando ante el estrés de una pregunta en la que se decide mentir, la actividad del sistema simpático varía y se libera adrenalina. Se añade el hecho de la producción de sudor por parte de las glándulas sudoríparas estimuladas. No obstante es un método poco fiable. (Una persona entrenada puede mentir sin que se le note).

Este mecanismo es fundamental en el mundo natural puesto que permite sobrevivir ante una situación extrema. Por ejemplo, la presencia de un depredador dispara en una presa las alarmas y la prepara para salir huyendo o en otros casos para defenderse. Sin embargo, en nuestra sociedad actual, este conjunto de fenómenos que desencadena el estrés puede promover respuestas exageradas a estímulos que no las merecen y sobre todo, puede mantenerse este estado durante largos periodos de tiempo. Esto ocasiona un malestar generalizado que puede resultar muy intenso. Es lo que da en llamarse **ansiedad** y en ocasiones **ataque de pánico** (taquicardia, sudoración, sensación de desmayo o de ahogo...). En estos casos, cada vez más frecuentes, el sistema simpático deja de ser un mecanismo de supervivencia para convertirse en un auténtico problema. Debe quedar claro que una situación de estrés es toda aquella que se entiende como fuera de lo normal. (Un tropezón en la calle, un susto, ver a una persona que te cae especialmente mal o, por el contrario, por la que se siente algo especial, acudir al instituto o enfrentarse a un examen, tener que rellenar los papeles de la beca... hay muchas situaciones que pueden generar estrés. Y cada persona reacciona de una forma diferente. [Es interesante conocer bien el tema de la ansiedad: a lo largo de nuestra vida se puede convertir en una compañera indeseable].

[En nuestro mundo de humanos, a diferencia del mundo animal, solemos mantener un estado de estrés continuado que acaba por pasarnos factura: cuando una cebra ve un león, dispara su mecanismo de estrés y corre para salvar su vida. Si sobrevive al ataque, al cabo de unos minutos su sistema parasimpático vuelve su organismo al estado inicial y la cebra se pone a comer hierba de nuevo olvidando por completo la situación estresante. Nosotros, con un gran cerebro que recuerda y que piensa en lo que pasó en algún momento y que podría volver a suceder, tendemos a crear una situación de estrés que no se resuelve huyendo o atacando y que se mantiene en el tiempo. Esto supone un gran desgaste físico.

Más sobre la situación de estrés: volvamos a la cebra. Ante un león, lo prioritario es correr y salvar la vida. Todo lo demás es secundario y TODOS los recursos se dirigen a poder correr. Nada de fabricar glóbulos blancos y anticuerpos (disminución del sistema inmunitario), nada de ovular o de tener la regla o de fabricar espermatozoides o de crecer... Pero al cabo de un rato todo vuelve al estado inicial. Entre los humanos sin embargo se mantiene el estrés durante días, meses e incluso años → bajan las defensas → enfermamos].

### 7.3. SISTEMA ENDOCRINO U HORMONAL

#### Introducción.

Los sistemas nervioso y endocrino tienen la función de controlar al organismo. Trabajan de diferente forma pero están interrelacionados. Esa relación llega a ser muy directa en el caso de centros nerviosos que producen hormonas (hipotálamo).



El sistema endocrino está formado por glándulas que vierten sus productos, las hormonas, al torrente sanguíneo y así viajan por todo el organismo. Sin embargo, cada hormona efectúa su acción sobre células de un tejido o un órgano en concreto, que reciben el nombre de células (o bien órganos) blanco o **diana**. En cualquier caso, en las membranas de las células es donde se encuentran los receptores donde pueden anclarse las hormonas (si son proteínas) o por donde penetran (las hormonas esteroideas atraviesan la membrana plasmática, induciendo directamente la síntesis de ARN mensajero. Cuando esto sucede, las células se pondrán a trabajar -producirán proteínas- que las llevarán a realizar una función concreta (puede ser captar glucosa del medio, o contraerse, o aumentar las reacciones catabólicas, o comenzar a dividirse, etc.).

La naturaleza de las hormonas es variada, destacando las de composición proteica (como la insulina) y las esteroideas (hormonas sexuales).

### **La regulación hormonal: eje hipotálamo-hipófisis-glándulas endocrinas.**

El primer mecanismo desencadenante de la secreción hormonal lo constituyen los estímulos a que están sometidos los animales, bien procedentes del medio externo, bien del interno. Ante la llegada de impulsos nerviosos al hipotálamo, este segrega **factores liberadores** (en realidad hormonas) que llegan a la **hipófisis**, induciéndola a producir hormonas. Las hormonas hipofisarias reciben el nombre de **hormonas tróficas**, puesto que, en vez de controlar por sí mismas una función, estimulan ("alimentan" *trofos*=alimento) a una glándula endocrina para que produzca hormonas.

La presencia de hormonas de las diferentes glándulas (tiroides, testículos, ovarios, suprarrenales, etc.) en la sangre por encima de una determinada cantidad es detectado por el hipotálamo, el cual deja de enviar señales a la hipófisis de modo que deja de segregar hormonas tróficas. En consecuencia, el resto de las glándulas endocrinas, al no ser estimuladas, también dejan de producir sus propias hormonas. Cuando bajan los niveles en sangre, hipotálamo e hipófisis vuelven a activarse y así, se consigue una regulación que recibe el nombre de **retroalimentación negativa** o **feed-back**.

Las hormonas son metabolizadas al cabo de muy poco tiempo, ya en las propias células diana, ya en el hígado, ya en los riñones, siendo eliminadas con la bilis o con la orina. La razón, como en el caso de los neurotransmisores, es la de que constituyan unos eficaces mensajeros químicos: si no fueran destruidas, mantendrían siempre activadas a las células diana, con lo cual no resultarían funcionales.

Pueden conocerse los niveles de ciertas hormonas en sangre por la concentración que presentan en la orina. A modo de ejemplo, si aparece gonadotropina coriónica, sintetizada por el embrión, es indicativo de que una mujer está embarazada [antes se realizaba la "prueba de la rana"; ahora se emplean sustancias químicas que reaccionan con la hormona y producen un cambio de color].

En la especie humana, además de las ya vistas, se cuentan las siguientes glándulas endocrinas: tiroides, paratiroides, páncreas, mucosa duodenal y gástrica, cápsulas suprarrenales, ovarios y testículos.

## **EL HIPOTÁLAMO**

En su función endocrina, el hipotálamo segrega varias hormonas. Las células secretoras son neuronas, no tratándose de células de tejido glandular. Las hormonas son:

Factores liberadores, que son hormonas que llegan a la hipófisis, donde estimulan la producción de hormonas tróficas.

Vasopresina y Oxitocina. La vasopresina u hormona antidiurética ya fue tratada en el tema del aparato excretor. La oxitocina es la hormona que desencadena el parto, provocando las

contracciones del útero. También es la hormona de despierta el instinto maternal y el paternal y parece estar relacionada con el mantenimiento de lazos entre la madre y el hijo o en la pareja. Parece que también se elevan sus niveles durante el enamoramiento.

## LA HIPÓFISIS (conocida también como glándula pituitaria).

La hipófisis se halla situada bajo el hipotálamo, unida a él por un pedúnculo a través del cual pasan las hormonas y fibras nerviosas. Tiene el tamaño de un guisante y descansa sobre una protuberancia del hueso craneal (esfenoides) llamada silla turca.

Presenta tres regiones diferenciadas que poseen distintas funciones:

*Hipófisis anterior:* Ante la llegada de los factores hipotalámicos segrega hormonas tróficas (6 diferentes) que estimulan a otras glándulas. También produce otras hormonas

*Hipófisis posterior:* En esta parte se almacenan la oxitocina y la vasopresina procedentes del hipotálamo.

*Hipófisis intermedia:* Es una región estrecha situada entre las dos anteriores. Segrega la hormona estimuladora de los melanocitos.

Hormonas hipofisarias:

**Hormona estimulante del tiroides (TSH).** Se encarga de activar a la glándula tiroides para que produzca hormonas tiroideas.

**Hormona estimulante del folículo (FSH).** Actúa en el ovario haciendo que maduren los folículos y, en el testículo para que se produzcan espermatozoides.

**Hormona luteinizante (LH).** Estimula la producción del cuerpo lúteo en la mujer y de testosterona en el hombre.

**Hormona adrenocorticotropa (ACTH).** Estimula la corteza suprarrenal para que segreguen sus hormonas.

**Hormona del crecimiento (GH).** Activa la mitosis celular y la entrada de nutrientes en las células, promoviendo el crecimiento corporal. Esta hormona, que se segrega en cantidad apreciable hasta después de la adolescencia se considera trófica ya que en el crecimiento están involucradas glándulas como el tiroides, paratiroides, suprarrenales y páncreas, interviniendo de algún modo en el control del metabolismo.

**Prolactina (LTH).** Estimula la secreción láctea de las glándulas mamarias tras el parto.

**Hormona melanocito-estimulante (MSH).** Esta hormona favorece la síntesis de la melanina, sustancia que colorea la piel.

## LA GLÁNDULA TIROIDES

El tiroides es una glándula endocrina situada en la base del cuello que rodea la tráquea por delante y por los lados.

Las células secretoras se encargan de producir varios tipos de hormonas tiroideas, como son la **tiroxina** y la **triyodotironina**, a partir del aminoácido tirosina, por incorporación de átomos de yodo. Otras células del tiroides, segregan una tercera hormona denominada **calcitonina**.

Las funciones de las hormonas tiroideas son las siguientes:

- Las hormonas tiroxina y triyodotironina activan el metabolismo de las células, principalmente la síntesis proteica y la utilización de glucosa por la célula. Además, promueven un



desarrollo normal del tejido nervioso y óseo. Como resultado del aumento del metabolismo celular, se incrementa la frecuencia cardíaca y respiratoria.

- La calcitonina disminuye la concentración del ión calcio en la sangre y favorece su depósito en los huesos, con lo que evita que éstos se descalcifiquen.

## LAS GLÁNDULAS PARATIROIDES

Las glándulas paratiroides son cuatro pequeños grupos celulares situados sobre la misma glándula tiroides. Las células de estas glándulas segregan una única hormona, la **parathormona**.

La función de la parathormona es controlar el metabolismo del calcio y del fósforo de la siguiente manera:

- Control del metabolismo del calcio. La parathormona incrementa la reabsorción renal e intestinal del  $\text{Ca}^{++}$  y además descalcifica los huesos, con lo que aumenta la concentración de este ión en la sangre (aumenta la calcemia). Es una hormona antagónica de la calcitonina.

- Control del metabolismo del fósforo. La parathormona disminuye la reabsorción renal del fósforo, por lo que este tiende a ser eliminado por la orina.

## EL PÁNCREAS

Además de la función exocrina, segregando jugo pancreático, el páncreas tiene también misión endocrina, puesto que produce dos hormonas, la **insulina** y el **glucagón**. El páncreas es, por lo tanto, una glándula mixta.

La porción endocrina del páncreas está constituida por los islotes de Langerhans, formados por grupos de células aislados entre los túbulos glandulares de la porción exocrina.

Insulina y glucagón se encargan de controlar la cantidad de glucosa en la sangre (glucemia) y mantenerla estable en una proporción de aproximadamente un gramo por cada litro de sangre. La insulina disminuye la glucemia cuando esta se eleva por encima de los valores normales (hiperglucemia), mientras que el glucagón la eleva cuando alcanza valores inferiores a los normales (hipoglucemia). Son hormonas antagónicas.

La misión hipoglucemiante de la insulina se debe a que estimula el consumo de glucosa por las células (glucólisis para obtener energía), incrementa la síntesis de proteínas y promueve la fabricación de glucógeno a partir de glucosa en las células y en el hígado. La acción hiperglucemiante del glucagón se debe a que esta hormona estimula la glucogenólisis en el hígado, produciéndose glucosa que pasa a la sangre (el glucógeno de reserva es hidrolizado a glucosa).

## LAS MUCOSAS DIGESTIVAS

Las mucosas del estómago y del intestino delgado no son glándulas de secreción propiamente dichas. No obstante, dispersas entre sus células existen otras células de tipo glandular que segregan sus productos a la sangre. Son, pues, células glandulares de tipo endocrino que no están agrupadas en una glándula concreta.

Las hormonas gastrointestinales se encargan de controlar los procesos digestivos, bien activando la secreción de los diversos jugos digestivos y aumentando el peristaltismo, o bien, por el contrario, produciendo efectos inhibitorios. Existen numerosas hormonas gastrointestinales. [Inhibir es el proceso opuesto a activar].

## LAS GLÁNDULAS SUPRARRENALES

Las glándulas suprarrenales son dos pequeñas glándulas que se encuentran situadas sobre cada riñón, a modo de sombrero. Las hormonas que segregan reciben el nombre de **hormonas adrenales**. Histológicamente se dividen en dos partes: la corteza y la médula.

La **CORTEZA SUPRARRENAL** segrega las hormonas siguientes: **glucocorticoides**, **mineralocorticoides** y **hormonas sexuales**. La secreción de estas hormonas está controlada por la hormona adrenocorticotropa (ACTH) hipofisaria.

- Los glucocorticoides, como la **cortisona**, regulan el metabolismo (anabolismo) de los glúcidos y, en menor proporción, el de proteínas y lípidos.
- Los mineralocorticoides, como la **aldosterona**, se encargan de controlar el metabolismo de las sales minerales y, en consecuencia, del equilibrio hídrico.
- Las hormonas sexuales son los **andrógenos** (masculinas) y los **estrógenos** (femeninas) y controlan las características sexuales de la persona. Se segregan en pequeñas cantidades y de ambos tipos en cada sexo. Esta es la razón por la que las mujeres sufren una ligera masculinización tras la menopausia, cuando sus ovarios disminuyen la producción de las hormonas femeninas y de que un hombre castrado tienda a feminizarse por el efecto opuesto.

Hoy día se emplean muchos corticoides sintéticos como antiinflamatorios, el Urbasón, por ejemplo, se utiliza como potente vasoconstrictor cuando se han producido reacciones alérgicas intensas que suponen una inflamación generalizada. Además los hay para otros usos como los "**anabolizantes**" que son las hormonas de engorde del ganado (son ilegales) o las sustancias que utilizan ciertos deportistas para conseguir más masa muscular (muchas también son ilegales).

La **MÉDULA SUPRARRENAL** segrega dos hormonas: la **adrenalina** y la **noradrenalina**.

- La **adrenalina** y la **noradrenalina** se denominan hormonas de la emoción, porque se segregan en momentos de ansiedad, terror, etc. Ambas hormonas determinan diversos efectos fisiológicos para que la persona salga airoso en esos momentos de peligro (acciones muy semejantes a las del sistema nervioso simpático, ya que de hecho es este sistema el que estimula la secreción de estas hormonas). [Adrenalina y noradrenalina son términos sinónimos de epinefrina y norepinefrina son a la vez hormonas y neurotransmisores].

## LOS ÓRGANOS SEXUALES PRODUCTORES DE GAMETOS (GÓNADAS)

Además de producir células reproductoras, las gónadas (ovarios en las hembras y testículos en los machos) actúan como glándulas endocrinas al segregar a la sangre las hormonas sexuales.

Las hormonas sexuales se encargan de controlar el desarrollo de los órganos genitales, así como de la manifestación de los caracteres sexuales, tanto primarios como secundarios. Cada gónada produce las hormonas propias de su sexo (**estrógenos** el ovario y **andrógenos** el testículo) y una pequeña cantidad de hormonas del sexo opuesto.

- Entre los andrógenos, destaca la **testosterona**. Estimula la formación de espermatozoides y es responsable de la aparición y el mantenimiento de los caracteres sexuales secundarios.
- Los estrógenos, como el **estradiol**, se forman en las células de los folículos ováricos y en el cuerpo lúteo. Es responsable de los caracteres sexuales secundarios y junto con la progesterona promueven la ovulación.
- La **progesterona** es una hormona producida por el cuerpo lúteo que induce los cambios uterinos pertinentes para el anidamiento del cigoto, cuando ha habido fecundación. Favorece, además, el desarrollo de las glándulas mamarias para adquirir su carácter secretor e interrumpe los ciclos menstruales (progesterona = en pro de la gestación). [El cuerpo lúteo o amarillo es una formación glandular que se desarrolla a partir del folículo de Graaf una vez producida la ovulación y desprendido el óvulo].





## ANOMALÍAS ENDOCRINAS (sólo leer) [Hay cientos de ellas]

En el individuo sano, las hormonas son producidas en la cantidad precisa sólo cuando el organismo las necesita. Sin embargo, en condiciones patológicas, por ejemplo, cuando hay un tumor en alguna glándula de secreción interna, la producción de hormonas puede estar aumentada o disminuida, hablándose de hiperfunción o hipofunción, respectivamente, de dicha glándula. Cuando hay hiperfunción o hipofunción de alguna glándula endocrina, se produce una enfermedad. Algunas anomalías endocrinas son las siguientes:

- La **diabetes mellitus**. Es debida a la escasez de insulina pancreática, lo que conduce a una elevación de la glucemia, que alcanza entonces valores de 2-4 g de glucosa por litro de sangre. Se vuelve a la normalidad con inyecciones periódicas de insulina. En realidad la diabetes puede tener otras causas como la que se deriva de la obesidad y que está producida no por defecto de insulina sino por una incapacidad de las células diana a captarla en sus receptores (diabetes tipo II o de adultos). Por otra parte, cuando se trata de un defecto del páncreas, suele suceder que éste en determinados momentos libere más insulina de la cuenta, por lo que más que un déficit en la producción puede tratarse de un fallo en el control de la secreción.

- El **enanismo y el gigantismo hipofisarios**. Son debidos, respectivamente, al defecto o exceso de la hormona hipofisaria del crecimiento durante el período de desarrollo del individuo. Estas anomalías no conllevan ningún tipo de déficit mental. Se produce **acromegalia** o crecimiento desproporcionado de las zonas extremas del cuerpo (pies, manos, nariz, orejas, lengua, hígado) cuando se segrega mucha hormona del crecimiento una vez que ha finalizado el desarrollo de la persona, es decir, cuando ya se es adulto (esto ocurre con las zonas que poseen cartílagos, ya que tienen capacidad para crecer, mientras que los huesos, al final del periodo de desarrollo del individuo no pueden crecer en longitud. Los cartílagos que se hipertrofian suelen ser los de la nariz, pabellón de la oreja y dedos.

- **Hipertiroidismo**. Se debe a una hiperfunción de la glándula tiroides, que conduce a un gran aumento de volumen de ésta, apareciendo un abultamiento en el cuello llamado bocio. En ocasiones se produce también una protusión de las órbitas oculares (exoftalmía), al almacenarse grasa en la parte posterior del globo ocular. Hay además, un aumento del metabolismo, excesiva sudoración, taquicardia, agitación o intranquilidad y pérdida de peso. Puede corregirse extirpando parcial o totalmente la glándula.

- **Hipotiroidismo**. Una hipofunción del tiroides en la infancia conduce a una baja estatura (enanos tiroideos), infantilismo genital, obesidad y deficiencia mental (cretinismo). En la edad adulta, el hipotiroidismo es relativamente frecuente a partir de una cierta edad pudiendo ser congénito y afectando en mayor medida a mujeres. El hipotiroidismo rebaja el metabolismo basal y hay un enlentecimiento de la actividad con cansancio, sueño y frío como posibles síntomas. Se soluciona con la administración de tiroxina.

[→ Busca qué son lo **Perturbadores endocrinos = disruptores hormonales** y las **Feromonas**]