

# El proceso de relación en los animales



Todo lo que nos pasa en la vida es el resultado de una serie de moléculas que se agitan en algún lugar de nuestra mente.

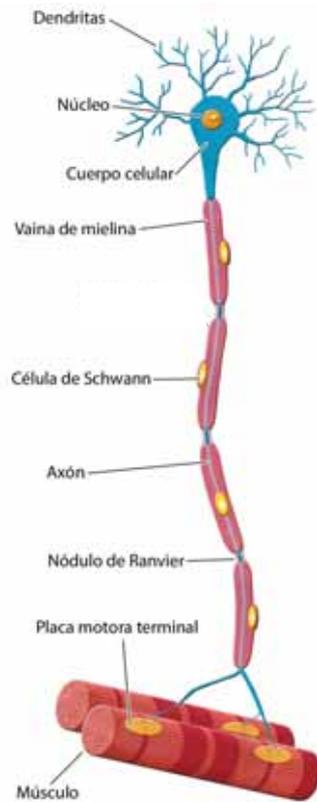
Don DeLillo

1. La función de relación en animales
2. La neurona
3. El sistema nervioso
4. El sistema hormonal o endocrino



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.2 La neurona



**Fig. 15.1.** En una neurona típica distinguimos las siguientes partes:

- Las dendritas: ramificaciones cortas y numerosas que se encargan de recibir información del entorno interno o externo, o de otras neuronas.
- El cuerpo celular o soma: contiene el núcleo y los orgánulos celulares y actúa como centro de integración, es decir, suma todas las señales que recibe y si la excitación es suficientemente elevada, iniciará una respuesta.
- El axón: una fibra larga y fina que transmite la señal producida cuyo extremo final se ensancha y recibe el nombre de botón terminal. Normalmente sólo existe un axón en cada neurona, y puede medir más de un metro (como ocurre con los axones de las neuronas motoras de la médula espinal que se extienden hasta el final de las extremidades).

Según la función que llevan a cabo, las neuronas se clasifican en:

- Neuronas sensitivas o aferentes: reciben información de los receptores y la transmiten a la región del sistema nervioso que se encarga de su procesamiento.
- Neuronas de asociación: conectan unas neuronas con otras.
- Neuronas motoras o eferentes: transmiten las órdenes elaboradas hasta los órganos efectores (músculos y glándulas).

## ► 15.1 La función de relación en animales

La supervivencia de cualquier organismo depende, en gran medida, de su capacidad para captar estímulos del medio externo y del interno y elaborar respuestas adecuadas. Toda función de relación implica la existencia de un **receptor**, que detecta estímulos, un **efector**, que ejecuta la respuesta para adaptar el organismo al cambio producido en el ambiente, y un **sistema integrador**, que comunica las dos estructuras anteriores. La materia viva es un conjunto de biomoléculas altamente organizadas, así que no es de extrañar que la primera estrategia de relación fuera la **comunicación química**. Incluso las bacterias, los seres vivos más sencillos que existen, se comunican con otras bacterias a través de compuestos químicos (secretando, por ejemplo, bacteriocinas, unos pequeños péptidos que regulan las poblaciones bacterianas) o son capaces de nadar hacia una fuente de alimento o huir de un compuesto tóxico porque detectan estas sustancias gracias a proteínas de membrana.

La comunicación química, sin embargo, tiene un gran inconveniente en los organismos multicelulares porque las sustancias tienen que viajar por difusión célula a célula o a través de fluidos corporales desde los lugares de producción hasta las células donde ejercen su acción. Para acelerar la transmisión de la información, los animales (multicelulares y activos) complementaron la comunicación química a través de **hormonas** con unas células especializadas en recibir estímulos, elaborar órdenes adecuadas y conducir esta información a diferentes partes del cuerpo a través de impulsos eléctricos muy rápidos: habían aparecido las **neuronas**.

Aunque tradicionalmente se han estudiado por separado, los sistemas nervioso y endocrino están muy relacionados: la neurona conduce la información eléctricamente, pero esta información se transmite a otras células a través de sustancias químicas que, en ocasiones, son las mismas que actúan como hormonas, y como veremos, algunas neuronas controlan el funcionamiento del sistema hormonal e, incluso, secretan hormonas. Es tan difícil separar ambos sistemas que muchos científicos hablan de uno solo: el **sistema neuroendocrino**.

## ► 15.2 La neurona

Con la aparición de las neuronas (véase Figura 15.1), empezó a organizarse una gran red de comunicaciones por la que circulan multitud de mensajes; la del ser humano, por ejemplo, está formada por varios miles de millones de neuronas, pero, ¿qué «lenguaje» utilizan las células nerviosas para conducir mensajes?

### ►► El impulso nervioso

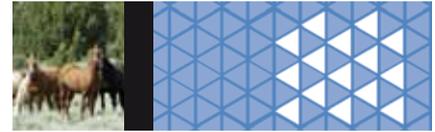
Las neuronas pueden transmitir numerosos mensajes (cambios en el medio externo e interno, órdenes de movimiento hacia los músculos, etc.). Toda esta información se transmite en forma de señales eléctricas que reciben el nombre de **impulso nervioso**. Pero, ¿cómo puede una neurona iniciar una corriente eléctrica?

### ►►► La neurona en reposo: potencial de membrana

Los líquidos orgánicos, tanto dentro como fuera de las células, contienen electrolitos. En el citoplasma celular abundan los iones potasio con carga positiva ( $K^+$ ), mientras que el líquido que baña las células es rico en iones sodio con carga positiva ( $Na^+$ ).

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.2 La neurona



Como ocurre con todas las células del organismo, en una neurona en reposo existe un exceso de cargas negativas a lo largo de la superficie interior de la membrana celular, y un número igual de cargas positivas en el exterior de la membrana (véase Figura 15.2b). Esta diferencia de cargas a ambos lados de la membrana se mantiene principalmente gracias a dos mecanismos:

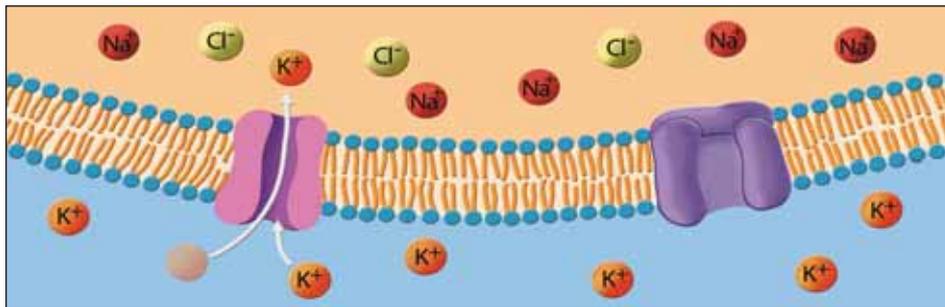
- La **difusión de los iones de potasio**, que tienden a salir de la célula siguiendo su gradiente de concentración a través de los canales de potasio, unos poros que dejan en su interior algunas proteínas transmembrana (véase Figura 15.2a). Cada ión potasio que sale del axón supone una carga positiva extra en el exterior de la membrana. Además, los iones de sodio no pueden difundir porque, aunque la membrana también posee canales de sodio, éstos permanecen completamente cerrados.
- La **bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$** , que es una proteína de membrana que aparece en todas las células animales y que continuamente está bombeando tres  $\text{Na}^+$  hacia el exterior de la célula y dos  $\text{K}^+$  hacia el interior (véase Figura 15.2a). Como el transporte se hace contra gradiente, requiere gasto de energía proporcionado por la hidrólisis del ATP.

Esta diferencia de cargas entre el interior, cargado negativamente, y el exterior, positivo, se llama **potencial de membrana**, y su valor varía entre  $-40$  y  $-90$  milivoltios (mV). Gracias a él, la célula funciona como una pequeña batería que almacena energía potencial y que permitirá, cuando las condiciones lo requieran, su transformación en energía eléctrica.

#### ►►► La neurona recibe un estímulo: potencial de acción

Cuando una neurona recibe un estímulo, la situación cambia radicalmente. La membrana abre de forma súbita sus canales de sodio y grandes cantidades de este elemento pasan al interior de la célula por difusión, cambiando el potencial de membrana (alcanza los  $+50$  mV dentro de la célula), que pasa a llamarse **potencial de acción**. El movimiento de cargas implica el establecimiento de una corriente eléctrica: las neuronas ya están enviando información. Inmediatamente, los conductos de sodio se cierran con gran rapidez y se restablece el potencial de membrana normal de la neurona en reposo.

Una de las grandes maravillas del sistema nervioso es que la transmisión del impulso eléctrico, y por tanto de mensajes a través de las neuronas, es extraordinariamente veloz. Los potenciales de acción duran unas pocas milésimas de segundo y van fluyendo rápidamente axón abajo (véase Figura 15.2b).



**Fig. 15.2.** Membrana mostrando los canales de potasio y de sodio y la bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  que intervienen en la transmisión del impulso nervioso.

El descubrimiento de los sucesos eléctricos producidos en las neuronas tuvo lugar a principios de los años cincuenta, cuando los fisiólogos británicos B. Katz, A. Hodgkin y A. Huxley insertaron dos electrodos, conectados a un voltímetro, en los axones gigantes de un calamar.



En el CD y en la **CEO (centro de enseñanza on-line)** creados para este proyecto podrás encontrar el siguiente material adicional:

Enlaces, bibliografía, actividades interactivas (hormonas, órganos y células productoras de hormonas y el cerebro) y animaciones (acto reflejo, aparato nervioso en invertebrados, hipófisis y relaciones hormonales, glándulas hormonales, estructura del encéfalo, el sistema endocrino)

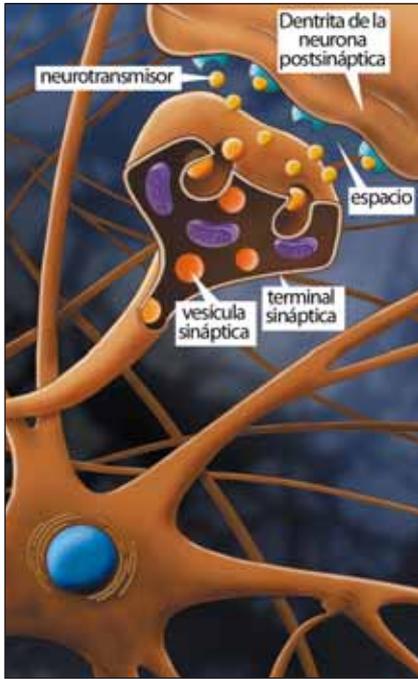
## Actividades

- 1> La procaína y la tetracaína son dos sustancias que dificultan la apertura de los canales de sodio. ¿Por qué crees que se utilizan como anestésicos locales?



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.2 La neurona



**Fig. 15.3.** En una sinapsis podemos distinguir los siguientes elementos:

- El botón terminal del axón de la neurona presináptica, con numerosas vesículas cargadas de neurotransmisores.
- El espacio existente entre las dos neuronas o espacio sináptico, que posee una anchura de  $20 \text{ nm}$ .
- La membrana de la neurona postsináptica, que contiene receptores para los neurotransmisores.

### ►► La transmisión de información entre neuronas: la sinapsis

Hasta finales del siglo XIX se pensaba que el sistema nervioso era una red continua por donde circulaba la electricidad. Sin embargo, el científico aragonés Santiago Ramón y Cajal descubrió que las neuronas eran células independientes, así que cuando el potencial de acción llegaba al final del axón, se encontraba con un pequeño espacio que impedía la transmisión del impulso nervioso. La zona de contacto entre dos neuronas se llama **sinapsis** (véase Figura 15.3).

La pregunta obvia era cómo se transmitían los mensajes entre neuronas. Fue en 1921 cuando el científico Otto Loewi demostró que la química era la responsable de todo el proceso y que los botones terminales de las **neurona presinápticas** contienen numerosas vesículas cargadas de **neurotransmisores**, unas sustancias químicas que transmiten el mensaje de una neurona a otra.

Cuando el impulso nervioso llega al final de la neurona presináptica, el botón terminal adquiere carga positiva, lo que provoca la apertura de las vesículas y la liberación de los neurotransmisores al espacio sináptico. Las moléculas de neurotransmisor se encajan en sus receptores de la membrana de la **neurona postsináptica**, como una llave en una cerradura. Esta unión provoca la apertura de canales iónicos y el establecimiento en la segunda neurona de un potencial de acción, por lo que el mensaje seguirá su curso.

Las moléculas de neurotransmisor se reabsorben por la neurona presináptica o se inactivan por enzimas para evitar que el estímulo continúe por tiempo indefinido.

La existencia de la sinapsis hace que la transmisión de la información sea un proceso controlado. Si no existieran, la excitación de una neurona se transmitiría inevitablemente por toda la red de neuronas interconectadas, sin ningún control. Las dendritas y el soma de una neurona pueden recibir las señales de cientos o miles de sinapsis. Si el efecto del neurotransmisor sobre la neurona es hacer el interior menos negativo, se trata de un neurotransmisor excitante; si, por el contrario, su efecto consiste en mantener el potencial de reposo o, incluso, hacer el interior más negativo, el neurotransmisor será un inhibidor. La neurona integrará toda la información y si las señales de excitación superan a las inhibitorias, se iniciará un potencial de acción.

En la actualidad se conocen unos cincuenta neurotransmisores, pero la lista sigue creciendo. En la Tabla 15.1 se presentan los más conocidos. Intervienen en multitud de procesos, actuando sobre neuronas que transmiten órdenes de movimiento, sensaciones de depresión, de euforia, de placer o de miedo, y es que, en el fondo, hasta el amor y el odio son procesos químicos.

NEUROTRANSMISOR	LOCALIZACIÓN	FUNCIÓN PRINCIPAL
Acetilcolina	Sinapsis entre las neuronas motoras y los músculos	Activa los músculos esqueléticos
Dopamina	Mesencéfalo	Controla los movimientos
Adrenalina	Sistema nervioso simpático	Activa los órganos inervados por esta región del sistema nervioso
Serotonina	Mesencéfalo y bulbo raquídeo	Influye en el estado de ánimo y el sueño
GABA	Encéfalo	Inhibe las sinapsis del encéfalo

**Tabla 15.1.** Algunos neurotransmisores importantes.

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso



#### La ciencia de la neuroquímica

La **neuroquímica** es la ciencia que estudia los neurotransmisores. Proporciona herramientas valiosas para conocer los mecanismos moleculares de muchas enfermedades del sistema nervioso y para buscar fármacos que puedan combatirlas. Por ejemplo, el mecanismo de acción del mundialmente utilizado antidepresivo Prozac se basa en impedir la reabsorción por la neurona presináptica del neurotransmisor serotonina, y se ha comprobado que el mal de Parkinson (que cursa con temblores y rigidez muscular) está asociado con la muerte de neuronas que producen dopamina, un importante neurotransmisor para el control del movimiento.

La neuroquímica también está ayudando a entender muchos efectos de las drogas, como el de la adicción. La cocaína impide la reabsorción de los neurotransmisores serotonina y adrenalina, que producen una sensación de bienestar y contribuyen a nuestro nivel de energía así que, al permanecer durante más tiempo en la sinapsis, sus efectos se intensifican. Sin embargo, nuestro organismo intenta compensar el desequilibrio creado reduciendo el número de receptores para esos neurotransmisores en la neurona postsináptica. Al contar con menos receptores, el consumidor de cocaína debe seguir tomando su droga ya sólo para sentirse normal. Cuando se retira la droga, el malestar es evidente porque, aunque el cuerpo produce la misma cantidad de neurotransmisores, su efecto es menor. Afortunadamente, si se abandona el consumo de estas sustancias, los receptores alcanzan sus niveles normales.

En los últimos años también se ha descubierto que nuestro cuerpo produce **neuromoduladores**, unas sustancias que regulan la respuesta de la neurona ante un neurotransmisor. Desde tiempos remotos, las personas han empleado medicamentos contra el dolor, y los opiáceos vegetales, como la morfina o el opio, se utilizan con este fin desde hace siglos. Sin embargo, su mecanismo de acción no se conoció hasta bien entrado el siglo xx, al comprobarse que, aunque su estructura es semejante a la sustancia P (un neurotransmisor implicado en la transmisión de sensaciones dolorosas), no producen su efecto, así que cuando se unen a los receptores, bloquean la transmisión del mensaje doloroso.

En la década de los setenta, los científicos descubrieron que el cuerpo poseía estos receptores porque fabricaba unas sustancias neuromoduladoras, a las que llamó **endorfinas** (morfina endógena) por su semejanza estructural con los opiáceos vegetales, cuya función era inhibir el neurotransmisor P. La práctica del ejercicio físico estimula la producción de endorfinas, y algunos de los efectos analgésicos de la acupuntura también se basan en estas sustancias.

## ▶ 15.3 El sistema nervioso

Es indudable que desde las sencillas redes nerviosas de los cnidarios (los primeros animales en los que aparece un sistema nervioso) hasta el complejo encéfalo de los vertebrados, la evolución ha recorrido un largo camino, pero, en cualquier caso, siempre se observa que existe una clara correlación entre el sistema nervioso de un animal y su modo de vida.

### ▶▶ Sistema nervioso difuso

El sistema nervioso de los **cnidarios** es una **red o plexo nervioso** que se compone de un conjunto de neuronas que se extienden por todo el cuerpo (véase Figura 15.4). Los impulsos nerviosos desencadenados por los estímulos se transmiten en todas las direcciones por esta red de neuronas, y en las respuestas participan grandes regiones del cuerpo. En esta red nerviosa no existe un órgano de control ni se diferencian neuronas sensitivas y motoras, aunque algunas ramas del plexo enlazan los receptores de la epidermis (como los ocelos que detectan la luz) con células epiteliomusculares encargadas de las respuestas, entre las que destacan la descarga de los nematocistos y el movimiento coordinado de los tentáculos.

La ventaja de este sistema nervioso es que permite reaccionar rápidamente ante los estímulos, independientemente de la dirección en que se presenten, algo imprescindible para unos organismos de simetría radial que son sedentarios o vagan a la deriva arrastrados por corrientes.



Fig. 15.4. Cnidarios.



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso



El modelo de sistema nervioso reticular de los cnidarios se conserva en algunos animales superiores en forma de plexos nerviosos localizados, por ejemplo, en las paredes intestinales, donde controlan movimientos generalizados, como los peristálticos.

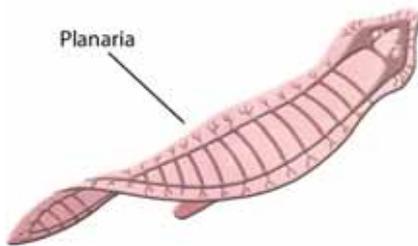


Fig. 15.5. Sistema nervioso de un platelminto.

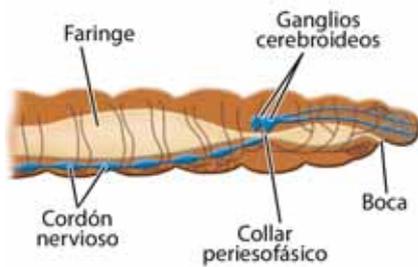


Fig. 15.6. Sistema nervioso de una lombriz de tierra.

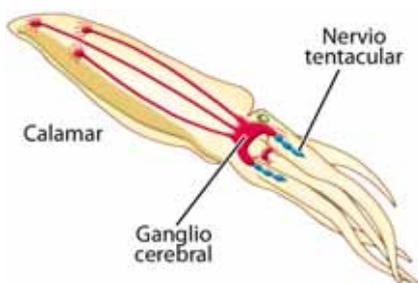


Fig. 15.7. Sistema nervioso de un calamar.

## ►► Sistema nervioso centralizado

En un mundo de recursos limitados, no todos los organismos podían optar por un modo de vida tan pasivo como el de pólipos y medusas, así que muchos animales se lanzaron a la búsqueda activa de recursos. Este cambio de vida exigía desplazamientos activos en una dirección determinada y órganos sensoriales más complejos para detectar los alimentos, los peligros y los posibles competidores. Este nuevo modo de vida corre paralelo a la aparición de sistemas nerviosos más complejos, en los que se observan las siguientes tendencias:

- **Aumento del número total de células nerviosas**, que se especializan en neuronas sensitivas, neuronas motoras y neuronas de asociación. El incremento del número de neuronas de asociación y unos contactos sinápticos más complejos empiezan a permitir una mayor integración de mensajes y de variedad de respuestas.
- Concentración de las células nerviosas para formar **ganglios** (acumulaciones de cuerpos neuronales) y **nervios** (agrupamiento de axones). De esta manera se inicia la diferenciación entre un **sistema nervioso periférico**, con nervios que se extienden por todo el cuerpo, y un **sistema nervioso central**, que recibe la información procedente de los receptores, la integra y envía órdenes a los efectores. Esta división ofrece la ventaja de que el estímulo de una parte específica del organismo provoca una respuesta individualizada que no afecta a todo el animal, como sucede en los cnidarios.
- **Cefalización**: como la cabeza es la primera parte del cuerpo que se topa con el alimento o los depredadores, los órganos sensoriales se concentran en esta zona del cuerpo. Además, como las respuestas también pueden ser más rápidas si la distancia entre los órganos sensoriales y las células nerviosas «encargadas de tomar decisiones» se acortan, el tejido nervioso empieza a acumularse también en la cabeza. La cefalización alcanza su máxima expresión en los vertebrados, en los que casi todos los cuerpos celulares de las neuronas se encuentran en la médula y el encéfalo.

## ►► Modelos de sistemas nerviosos de invertebrados

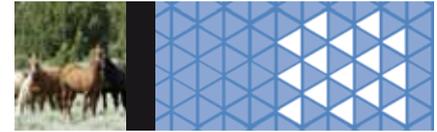
Los **platelmintos** ya poseen unos **ganglios cefálicos**, es decir, unas agrupaciones de células nerviosas que actúan como un cerebro primitivo, que ejercen cierto grado de control sobre el resto del sistema nervioso. Desde los ganglios se extienden dos **cordones nerviosos**, que poseen ramificaciones laterales y que, en posición ventral, se extienden hasta el extremo posterior del cuerpo (véase Figura 15.5).

Los **anélidos** presentan un ganglio principal en la cabeza, bilobulado, que se une, a través de dos cordones nerviosos, a una cadena ganglionar doble: cada segmento corporal posee un par de ganglios de los que parten nervios laterales (véase Figura 15.6). En los cordones nerviosos de los anélidos ya se aprecian claramente ramas sensoriales (aférentes) y motoras (eferentes) que comunican los ganglios con los receptores, los músculos y otras estructuras corporales, y algunos experimentos demuestran que su primitivo encéfalo ya posee cierto grado de control central: al extirparlo, el animal puede moverse tan bien como antes, pero cuando choca con un obstáculo, el animal intenta seguir avanzando de frente porque ha perdido su capacidad de rodear el obstáculo.

El sistema nervioso de los **moluscos** presenta varios grados de complejidad. Mientras que los moluscos más sencillos poseen un sistema parecido al de los platelmintos, el modelo de vida de los **cefalópodos**, activos cazadores, exige un sistema nervioso muy desarrollado (véase Figura 15.7): sus ganglios nerviosos se agrupan en un anillo que rodea al esófago y constituyen un encéfalo de unos 168 millones de neuronas. Además, poseen órganos sensoriales bien desarrollados y una capacidad de aprendizaje comparable a la de algunos mamíferos.

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso



La estructura del sistema nervioso de los **artrópodos** es similar a la de los anélidos, pero sus ganglios son más grandes y tienen asociados receptores muy complejos. Además, en los ganglios de algunos artrópodos ya se diferencian regiones que se especializan en la integración de la información recibida desde los órganos de los sentidos. Con este sistema nervioso, los artrópodos han alcanzado un gran éxito evolutivo (ya sólo los insectos suman el millón de especies) y, algunos de ellos, como los himenópteros (abejas, avispas, hormigas, etc.), han adquirido comportamientos sociales muy complejos perfectamente adaptados al medio.

Por último, los **equinodermos** poseen un anillo nervioso alrededor de la boca, desde el que se extiende un gran nervio radial hacia cada brazo (véase Figura 15.8).

### ►► Sistema nervioso de vertebrados

Todos los vertebrados, desde los peces hasta los mamíferos, poseen la misma estructura de sistema nervioso, que se puede dividir en dos partes:

- El **sistema nervioso periférico (SNP)**, que consiste en un conjunto de **nervios y ganglios** que comunican el encéfalo y la médula espinal con el resto del cuerpo.
- El **sistema nervioso central (SNC)**, formado por la **médula espinal**, un cordón nervioso dorsal hueco y el **encéfalo**, una gran masa de ganglios nerviosos. El SNC recibe y procesa la información e inicia las acciones.

#### ►►► El sistema nervioso periférico (SNP)

El SNP se compone de pares de **nervios y ganglios** que comunican el encéfalo y la médula espinal con el resto del cuerpo.

Los nervios pueden ser **sensitivos** (si sólo contienen axones de neuronas sensitivas), **motores** (si todos sus axones son motores) o **mixtos** (si poseen ambos tipos de fibras).

Según su origen, los nervios pueden ser **craneales** o **espinales**. En la especie humana existen 12 pares de nervios craneales que fundamentalmente se dedican a inervar la cabeza y el cuello y 31 pares de nervios raquídeos que inervan los brazos, las piernas y el tronco.

Las fibras motoras del SNP se pueden dividir en dos tipos:

- El **sistema nervioso somático**, que controla los movimientos voluntarios activando los músculos esqueléticos.
- El **sistema nervioso autónomo**, que controla las funciones involuntarias del cuerpo actuando sobre vísceras y músculos lisos y que se describirá más adelante.

#### ►►► El sistema nervioso central (SNC)

Para poder realizar su función, el SNC posee los cuerpos celulares de la mayoría de las neuronas de los vertebrados, cuyas acumulaciones aquí no se llaman ganglios, sino **núcleos**, pero también contiene conjuntos de axones que conectan sus distintas regiones y que en el SNC no reciben el nombre de nervios sino de **tractos**. Sus delicadas estructuras poseen una triple protección: el **armazón óseo** (el cráneo que protege el encéfalo y la columna vertebral a la médula); tres capas de tejido conjuntivo llamadas **meninges**; y una **barrera hematoencefálica**, es decir, unos capilares mucho menos permeables que los del resto del cuerpo y que dificultan la entrada de sustancias peligrosas.

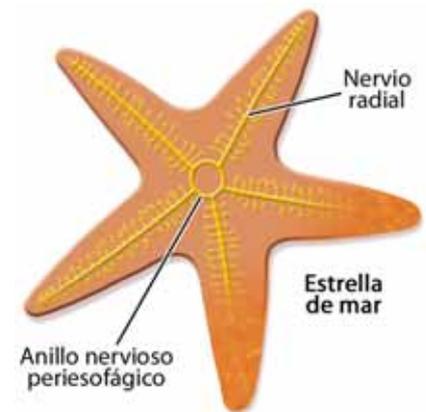


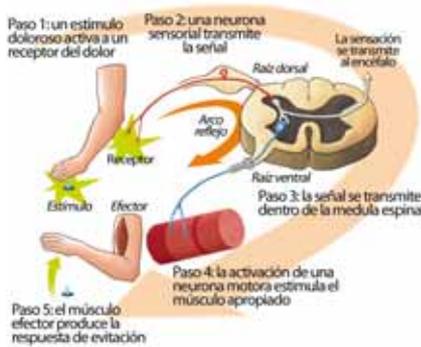
Fig. 15.8. Sistema nervioso de una estrella de mar.

Los axones de las neuronas de los vertebrados están cubiertos por unas vainas de mielina que se interrumpen en unos puntos llamados **nódulos de Ranvier**. Como la mielina es una sustancia aislante, en estas fibras nerviosas el impulso nervioso salta de nódulo en nódulo y aumenta enormemente la velocidad de su propagación, que llega a alcanzar los 200 m/s. Además, este sistema supone un ahorro de energía porque la bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  sólo funciona en los nódulos.



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso



**Fig. 15.9.** Además de transmitir impulsos hacia el encéfalo y desde él, la médula espinal controla numerosos actos reflejos, como el de evitación del dolor o el reflejo rotuliano. Un reflejo es una respuesta involuntaria y automática de una parte del cuerpo a un estímulo específico. Los elementos nerviosos que intervienen en un acto reflejo (retirar la mano cuando nos pinchamos) constituyen el denominado arco reflejo, en el que intervienen los siguientes elementos:

- Receptor de la piel: detecta el estímulo (pinchazo).
- Neurona sensitiva: transmite la señal de dolor a la médula espinal.
- Neurona de asociación: transmite la señal dentro de la médula espinal a la siguiente neurona.
- Neurona motora: estimula el músculo adecuado.
- Músculo efector: se contrae para retirar la mano.

### ■ La médula espinal

La médula espinal es un cordón hueco del grosor del dedo meñique, aproximadamente, que se extiende a lo largo de la espalda y que ha sufrido muy pocos cambios evolutivos.

En una sección transversal de la médula se observan dos zonas claramente diferenciadas: una interna, en forma de alas de mariposa, de sustancia gris, que se encuentra rodeada de una zona externa de materia blanca (véase Figura 15.9). La materia gris debe su color a que está formada por los cuerpos celulares de neuronas motoras y de neuronas de asociación, mientras que la sustancia blanca está constituida por tractos de axones cubiertos por mielina (sustancia que proporciona el color blanco) que se extienden hacia arriba o hacia abajo por la médula espinal y transportan señales sensoriales de los órganos internos y del mundo exterior hacia el encéfalo y señales desde el encéfalo hasta las zonas que dirigen las porciones motoras del sistema nervioso periférico.

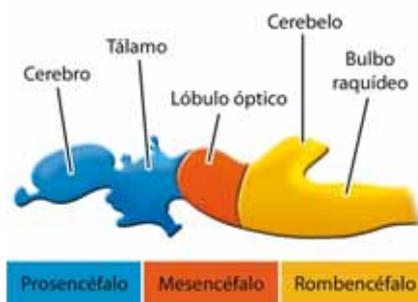
Las alas de mariposa de la médula espinal se llaman **astas** y se dividen en astas anteriores o ventrales, por donde salen los axones de neuronas motoras, y en astas posteriores o dorsales, por donde entran los axones de neuronas sensitivas. Estos axones se fusionan para formar los nervios espinales (véase Figura 15.9).

### ▶ Actividades

- 2> El actor Christopher Reeve, que encarnó durante muchos años el papel de Superman, sufrió en 1995 una terrible caída cuando montaba a caballo. El golpe le destrozó las dos primeras vértebras cervicales y le aplastó la médula espinal. ¿Por qué se quedó totalmente paralizado de cuello para abajo aunque sus nervios y sus músculos permanecían intactos? ¿Podrán los tetrapléjicos retirar la pierna si se pinchan con una chincheta?

### ¿Existen esperanzas de curación para los enfermos medulares?

Para mejorar la calidad de vida de los pacientes con lesiones medulares, algunos investigadores están programando con éxito ordenadores para que estimulen los músculos directamente con corrientes eléctricas y conseguir que se contraigan en cierto orden, realizando funciones útiles. Sin embargo, la gran esperanza para estos enfermos está en la utilización de células madre embrionarias. Estas células proceden de embriones humanos y, como todavía no se han diferenciado, son multipotentes, por lo que pueden dar lugar, al menos en teoría, a todos los tipos celulares que necesita un animal, incluidas las neuronas de la médula. Aunque los resultados experimentales son esperanzadores, todavía queda un largo camino por recorrer.



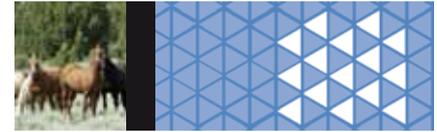
**Fig. 15.10.** Encéfalo embrionario de vertebrados.

### ■ El encéfalo

En el encéfalo embrionario de los vertebrados se diferencian tres regiones: el **rombencéfalo** o encéfalo posterior, el **mesencéfalo** o encéfalo medio y el **proscencéfalo** o encéfalo anterior (véase Figura 15.10), que posteriormente se subdividen y dan origen a estructuras específicas del adulto (véase Tabla 15.2).

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso



En los vertebrados no mamíferos, estas tres divisiones anatómicas son también funcionales: el rombencéfalo gobierna los comportamientos automáticos, como la respiración o la presión sanguínea; el mesencéfalo controla la visión; y el prosencéfalo se ocupa principalmente del sentido del olfato. Sin embargo, en los mamíferos adultos, y especialmente en el ser humano, el encéfalo ha sufrido grandes cambios: algunas regiones se han reducido mientras que otras, sobre todo el prosencéfalo, han crecido mucho. Es como si nuestro cerebro proviniese de otro más sencillo al que se le han ido añadiendo nuevos acabados para aumentar su capacidad.

La Figura 15.11 muestra las principales estructuras del encéfalo de vertebrados:

#### a) Rombencéfalo

- El **bulbo raquídeo** contiene núcleos de cuerpos neuronales que controlan muchas funciones involuntarias, como la respiración, el ritmo cardíaco, la presión arterial, la deglución, la tos y el vómito. Las funciones vitales que asume esta región explican por qué los golpes en la base de la nuca son tan peligrosos.
- El **cerebelo** es imprescindible para controlar los movimientos finos del cuerpo. Compara la información que recibe desde las áreas conscientes del cerebro y la procedente de los receptores de músculos y articulaciones, y reprograma las respuestas consiguiendo movimientos precisos y una postura corporal adecuada. Lógicamente, es de pequeño tamaño en animales poiquilotermos, de movimientos lentos, pero se encuentra muy desarrollado en las aves, que realizan la compleja actividad de volar, y en los mamíferos (sólo un gran cerebelo puede explicar el arte del violín, que implica la acción coordinada de cientos de músculos simultáneamente).

#### b) Mesencéfalo

- El **mesencéfalo** es la principal zona de asociación de peces y anfibios (recibe información sensorial, la integra y envía decisiones a los nervios motores adecuados), pero en los mamíferos la mayor parte de sus funciones son asumidas por el cerebro. También es un centro de reflejos visuales y auditivos (reflejo pupilar, parpadeo y ajuste del oído al volumen del sonido).

El conjunto formado por el rombencéfalo (a excepción del cerebelo) y el mesencéfalo recibe el nombre de **tallo encefálico** y, además de los núcleos celulares estudiados, contiene fibras nerviosas que se dirigen hacia la médula espinal y hacia las áreas superiores del encéfalo. Muchos de estos tractos de axones se cruzan en el tallo encefálico, por lo que el lado derecho del encéfalo recibe información de la parte izquierda del cuerpo y envía señales a la misma. Con el otro lado ocurre lo mismo.

#### c) Prosencéfalo

- **Diencefalo**
  - El **tálamo**, que tiene forma de huevo, es un centro de retransmisión de mensajes sensoriales. En los mamíferos, todos los mensajes sensoriales, excepto los procedentes de los receptores olfatorios, son enviados al tálamo, donde se integran antes de ser retransmitidos a las zonas sensoriales del cerebro.
  - El **hipotálamo** posee células nerviosas que producen hormonas (células **neurosecretoras**), células que controlan la liberación de hormonas por la hipófisis y células que dirigen las actividades del sistema nervioso autónomo. De esta manera, actúa como un importante centro de control de la homeostasis, pues se ocupa de regular la temperatura corporal, el ciclo menstrual, el equilibrio hídrico, el apetito o el ciclo de sueño-vigilia.

Encéfalo embrionario	Partes principales del encéfalo adulto
Prosencéfalo • Telencéfalo • Diencefalo	Tálamo Hipotálamo Hipófisis
Mesencéfalo	Mesencéfalo
Rombencéfalo	Cerebelo Bulbo raquídeo

Tabla 15.2. Partes principales del encéfalo.



Fig. 15.11. Corte transversal del encéfalo humano.



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso

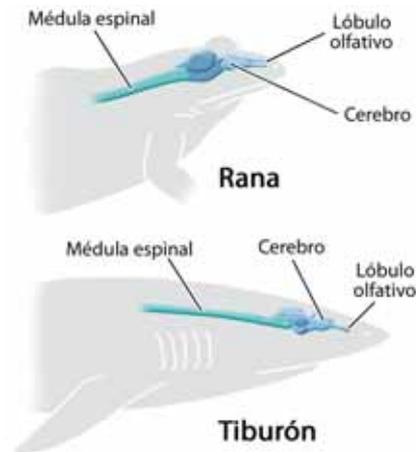


Fig. 15.12. Encéfalos de pez y anfibio con los grandes lóbulos olfatorios del cerebro.

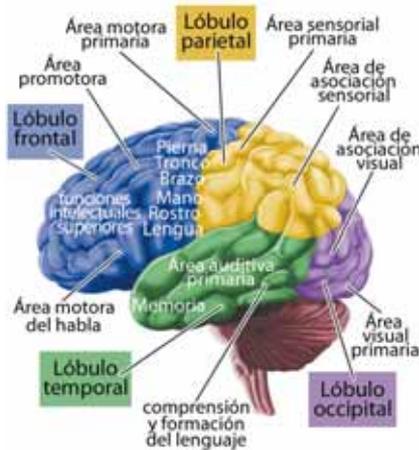


Fig. 15.13. La corteza cerebral.

- Telencéfalo

- El **telencéfalo o cerebro** se divide en dos mitades llamadas **hemisferios cerebrales** que se comunican entre sí mediante una gruesa banda de axones llamada **cuerpo calloso**. La región más externa es la **corteza cerebral** y, por debajo, se encuentran los **bulbos olfatorios**, la **amígdala** y el **hipocampo**.

- Los **bulbos olfatorios** son importantes para el sentido químico del olfato, el más importante en todos los vertebrados acuáticos y terrestres, por lo que ésta es la parte predominante del cerebro de peces y anfibios (véase Figura 15.12).

- La **amígdala** y el **hipocampo** son cúmulos de neuronas relacionadas con las emociones y la excitación sexual. El hipocampo también desempeña un papel importante en la formación de la memoria a largo plazo.

- La **corteza cerebral** sólo tiene dos milímetros de grosor, pero está formada por decenas de miles de cuerpos neuronales (que le confieren su color gris); en ella radica la consciencia y la capacidad de hacer razonamientos complejos y constituye la parte evolutiva más reciente del encéfalo. Los peces y los anfibios carecen de corteza cerebral y en los reptiles y en las aves es muy rudimentaria. En el ser humano y otros mamíferos la corteza se divide en **zonas sensoriales** (que reciben señales desde los órganos sensoriales, como los ojos y los oídos, que convierten en sensaciones subjetivas como la luz y el sonido), **zonas motoras** (que controlan los movimientos voluntarios) y **zonas de asociación** que se encargan del pensamiento, aprendizaje, lenguaje, memoria, juicio y personalidad. Ciertas investigaciones han revelado que las áreas de asociación del cerebro no siempre tienen la misma función en el hemisferio izquierdo y derecho (el hemisferio izquierdo se encarga del lenguaje y del aprendizaje de las matemáticas, mientras que el derecho está relacionado con la percepción espacial y las capacidades artísticas).

Para aumentar su superficie, la corteza cerebral se pliega formando **circunvoluciones**, y una serie de **surcos** la dividen en **lóbulos frontal, parietal, temporal y occipital** (véase Figura 15.13). Los científicos han empezado a trazar mapas de la corteza cerebral y han descubierto que las distintas zonas de la misma se encargan de funciones específicas; por ejemplo, los lóbulos occipitales contienen la corteza visual (su estimulación produce sensación de luz y su extirpación causa ceguera). Afortunadamente, la corteza cerebral posee cierta plasticidad, y si una zona queda dañada, el resto de regiones asumen, en parte, las funciones perdidas.

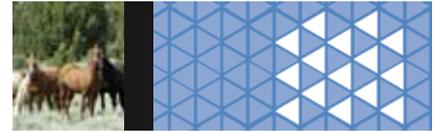
Para coordinar la multitud de procesos que se producen en el cuerpo de un animal, debe existir una comunicación efectiva entre las distintas regiones del encéfalo a través de tractos de axones que forman auténticas redes integradoras. Dos ejemplos de ellas son:

- La **formación reticular**, que recorre el tallo encefálico y recibe información de muchas áreas del cerebro y de, prácticamente, todos los receptores sensoriales. Filtra esta información entrante discriminando lo importante de lo accesorio. La existencia de esta red explica por qué una madre que duerme plácidamente en una casa ruidosa se despierta al escuchar el llanto de su bebé.

- El **sistema límbico** es un lazo de unión entre centros nerviosos del tálamo, el hipotálamo, la corteza cerebral y otras partes del cerebro, como la amígdala y el hipocampo. Todas estas estructuras participan en la producción de nuestras emociones, impulsos y conductas más básicas (ira, placer, hambre, respuestas sexuales, etcétera).

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.3 El sistema nervioso



#### ►►► El sistema nervioso autónomo (SNA)

El SNA está bajo el control del bulbo raquídeo y del hipotálamo y controla las funciones involuntarias del cuerpo actuando sobre vísceras y músculos lisos a través de sus dos divisiones, con efectos antagónicos, el sistema nervioso **simpático** y el **parasimpático**. Los axones de la rama simpática forman parte de los nervios de las regiones torácica y lumbar de la médula espinal, mientras que los de la rama parasimpática se originan en la región craneal y sacra (véase Figura 15.14). La mayoría de los órganos posee una doble inervación.

El **sistema simpático** actúa sobre los órganos preparando al cuerpo para situaciones de alerta y de actividad, que implican gasto de energía: dilata la pupila, aumenta la frecuencia cardíaca, inhibe la digestión, abre las vías respiratorias, etcétera.

El **sistema parasimpático** interviene en momentos de calma: el ritmo cardíaco se hace más lento, las vías pulmonares reducen su volumen, el aparato digestivo empieza a funcionar, etcétera.

Aunque, afortunadamente, la corteza cerebral no ejerce un control sobre las vísceras, algunas personas entrenadas (como los maestros de yoga) sí pueden modificar «voluntariamente» algunas funciones «involuntarias» como el ritmo cardíaco o la presión arterial. Es probable que este control se realice a través del sistema límbico.

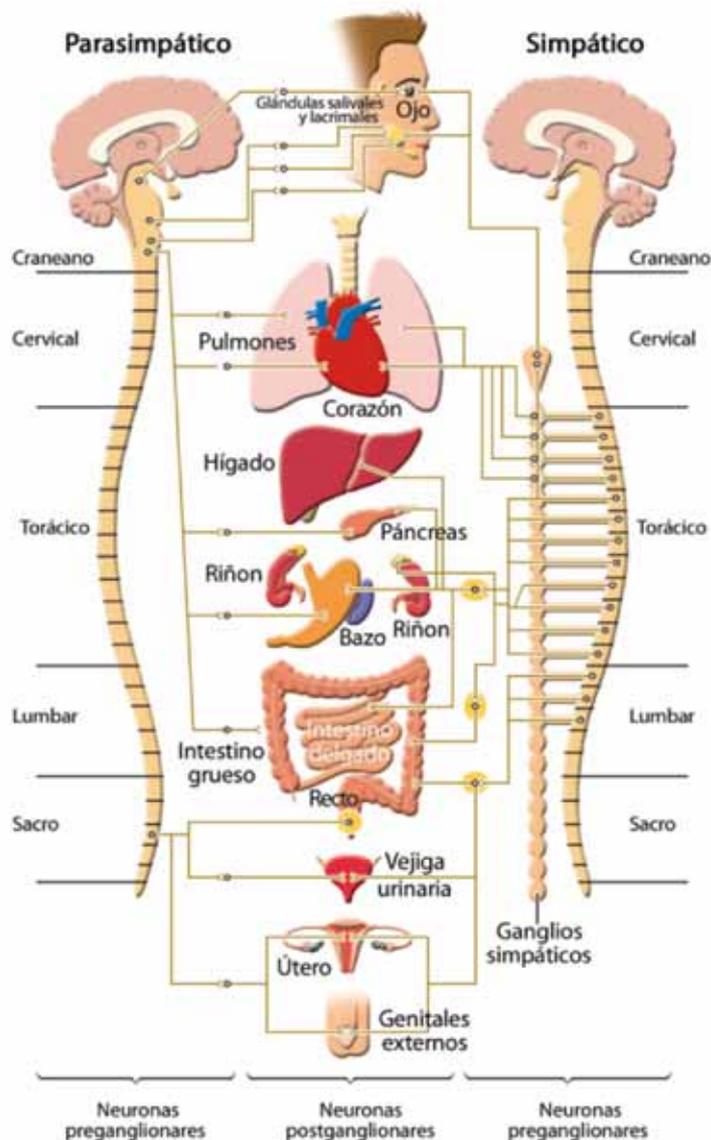


Fig. 15.14. El sistema nervioso autónomo.



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino

## ▶ 15.4 El sistema hormonal o endocrino



**Endocrino:** del griego *endo*, 'dentro', y *krine*, 'secreción'.

En 1902, dos fisiólogos ingleses, William M. Bayliss y Ernest H. Starling, demostraron que existía una sustancia producida en la mucosa del intestino que, viajando por el torrente sanguíneo, estimulaba la síntesis de los jugos pancreáticos. Para referirse a este tipo de sustancias acuñaron el término *hormona*.



Desde un punto de vista clásico, las **hormonas** son mensajeros químicos que, en respuesta a un estímulo externo o interno, son sintetizados por células o glándulas especializadas, vertidas directamente a la sangre y transportadas por el sistema circulatorio hasta alguna parte del organismo donde ejercen una acción fisiológica.

Las células o glándulas especializadas en fabricar hormonas se denominan **endocrinas** o glándulas de secreción interna (porque liberan sus productos directamente a la sangre sin necesidad de conductos), y las células que están bajo la acción hormonal reciben el nombre de **células diana** o **células blanco**.

Según su naturaleza química, distinguimos:

- **Hormonas derivadas de aminoácidos**, como las hormonas tiroxina y adrenalina, que se forman a partir del aminoácido tirosina.
- **Hormonas de naturaleza proteica**, como la oxitocina, la calcitonina, la insulina y la hormona de crecimiento.
- **Hormonas lipídicas**, como las derivadas del colesterol (corticoides, andrógenos, estrógenos y hormona de la muda de los insectos) o de ácidos grasos (hormona juvenil de los insectos y la prostaglandina).



Las glándulas exocrinas, al contrario que las endocrinas, producen sustancias que se liberan al exterior del cuerpo por medio de conductos. Las glándulas sudoríparas (que producen sudor para controlar la temperatura corporal), las sebáceas (que fabrican aceites que lubrican la piel) y las glándulas mamarias (que sintetizan leche, el primer alimento de las crías de los mamíferos) son ejemplos de este tipo de glándulas.



### **Concepción actual de hormona**

El concepto actual de hormona es mucho más amplio y no se restringe a un reducido número de glándulas que vierten sus productos a la sangre. Investigaciones recientes han puesto de manifiesto que cualquier célula del organismo puede producir sustancias que modifican su actividad o la de otras células cercanas. Así por ejemplo, las células del sistema inmunológico producen interleuquinas, unas proteínas que estimulan la proliferación de linfocitos y modulan las respuestas inmunológicas; y también se ha observado que muchas células del organismo fabrican prostaglandinas, un grupo de sustancias de naturaleza lipídica que poseen efectos muy variados (regulan la presión arterial, participan en la contracción uterina durante el parto, activan la respuesta inflamatoria y los procesos febriles ante una infección, etc.). Todas estas sustancias también son hormonas.

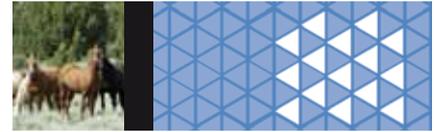


## **Actividades**

- 3> Investiga por qué la agricultura ecológica utiliza feromonas en el control de plagas.

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino



### Actividad resuelta

**Cuando sus receptores antenales detectaron bombicol en el aire, la mariposa macho del gusano de seda (*Bombyx mori*) no pudo parar de volar hasta que, exhausto por un desplazamiento de 20 km, encontró lo que estaba buscando: una preciosa mariposa hembra que le llevaba esperando varios días. ¿Qué es el bombicol, capaz de generar respuestas tan sorprendentes?**

El bombicol pertenece al grupo de las **feromonas**, unas sustancias químicas que los animales expulsan en pequeñas dosis y actúan sobre el comportamiento de otros individuos de la misma especie. En este caso, los mensajeros químicos traspasan las fronteras de un organismo para comunicarse con las células de otro individuo.

Las feromonas pueden ser potentes atrayentes sexuales, como el bombicol que producía la mariposa hembra de nuestra historia; otras sirven para avisar a los compañeros de la existencia de fuentes de alimento, como ocurre con algunas feromonas de hormigas; en las abejas determinan el estatus social: la reina de la colmena produce una feromona que impide el desarrollo de los ovarios de las obreras y así evita que se transformen en posibles rivales; la orina de los mamíferos contiene feromonas repelentes para disuadir a los individuos que intentan traspasar los límites de su territorio; y aunque en humanos todavía no se ha comprobado la existencia de feromonas, podría resultar una buena explicación para el hecho de que mujeres que viven bajo el mismo techo sincronicen sus ciclos menstruales (algo conocido y utilizado desde la antigüedad por los veterinarios para fertilizar a hembras de mamífero).

### ►► Mecanismos de acción hormonal

Las hormonas viajan por todo el cuerpo a través de la sangre, detectan sus células diana y ejercen su acción. Cuando, por ejemplo, un bebé es amamantado, el estímulo de succión provoca que la hipófisis de la madre sintetice prolactina, una hormona que estimula la producción de leche en las glándulas mamarias de los mamíferos. ¿Por qué la prolactina ejerce su acción en las células de las glándulas mamarias y no en otras células del cuerpo?

La prolactina consigue discriminar sus células diana de las que no lo son porque las primeras presentan receptores específicos para esta hormona. Así que una determinada hormona sólo puede desencadenar una respuesta en aquellas células que tengan el receptor adecuado.

Según la naturaleza química de la hormona, los receptores se encuentran en la membrana plasmática o en el citoplasma.

### ►►► Receptores de membrana

Las hormonas proteicas y aquellas derivadas de aminoácidos no pueden atravesar la bicapa lipídica de la membrana debido a su gran tamaño y a su naturaleza polar, por lo que sus receptores consisten en proteínas que se encuentran inmersas en la membrana plasmática.

La unión hormona-receptor estimula la formación de un **segundo mensajero**, una molécula que transfiere la información del primer mensajero, la hormona, a otras moléculas, lo que provoca cambios fisiológicos en la célula blanco (aumento de la permeabilidad de la membrana, síntesis de sustancias, activación de enzimas, etcétera).

El adenosín monofosfato cíclico o **AMP cíclico** (AMPC) es un nucleótido que funciona como segundo mensajero de muchas hormonas (adrenalina, oxitocina, prolactina, etcétera). Cuando una hormona se une al receptor, se activa la enzima adenilatociclasa, que cataliza la transformación de ATP en AMPC. El AMPC actúa entonces como segundo mensajero activando enzimas que controlan reacciones bioquímicas específicas que responden a la acción hormonal (véase Figura 15.15a).



**Polar:** sustancia que se disuelve en agua. Es sinónimo de hidrófilo o lipófilo.

**Apolar:** sustancia que no puede disolverse en agua. Es sinónimo de hidrófobo o lipófilo.



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino

#### ▶▶▶ Receptores citoplasmáticos

Las hormonas de naturaleza lipídica, como pueden atravesar la membrana plasmática debido a su carácter apolar, poseen sus receptores en el citoplasma de la célula diana. Una vez formado, el complejo hormona-receptor traspasa la envuelta nuclear donde se une a ciertas regiones del ADN, alterando la expresión genética y favoreciendo así la síntesis de proteínas específicas (véase Figura 15.15b). Las hormonas sexuales utilizan este mecanismo. Los estrógenos (hormonas sexuales femeninas) de las gallinas activan la expresión del gen de la albúmina, una proteína que forma parte de la clara de huevo, alimento esencial para el desarrollo del embrión.

Como las hormonas tienen efectos muy potentes sobre las células diana, sería peligroso que se acumularan; además, un estímulo mantenido en el tiempo deja de percibirse, así que una vez que se ha producido la acción hormonal, es la propia célula diana la encargada de destruir las.

Por otro lado, las hormonas sólo se necesitan en momentos determinados, por lo que existe un estricto control sobre la producción de hormonas en las glándulas endocrinas a través de un mecanismo de **retroalimentación** o **feed-back** (véase Figura 15.16). La retroalimentación es **negativa** cuando el propio producto sintetizado por la célula diana inhibe la secreción hormonal (es el caso de la adrenalina que, entre otras funciones, provoca un aumento de la concentración de glucosa en sangre. Cuando se alcanza un nivel adecuado de glucosa, es el propio monosacárido la señal que inhibe la secreción de la hormona). La retroalimentación también puede ser **positiva**. Un ejemplo de este tipo de control ocurre durante el parto. Las primeras contracciones uterinas estimulan la liberación de oxitocina, una hormona producida por la hipófisis, la cual provoca contracciones uterinas aun más fuertes que, a su vez, promueven la liberación de más oxitocina. La retroalimentación positiva tiene un efecto en el tiempo; en este caso finaliza con el nacimiento del bebé y la posterior relajación del útero.

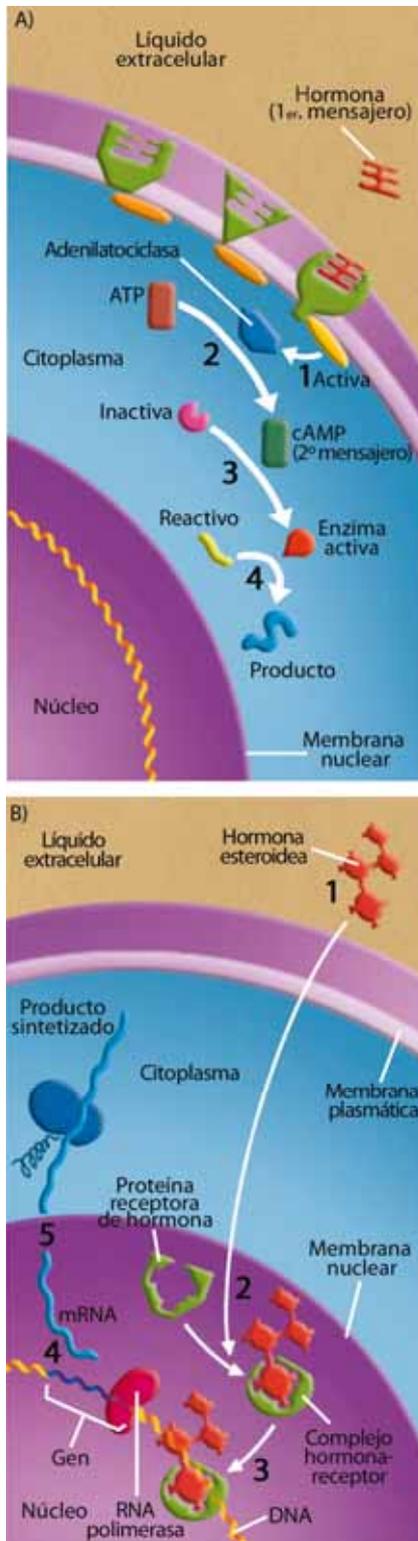


Fig. 15.15. Mecanismos de acción hormonal: a) receptor de membrana y b) receptor citoplasmático.

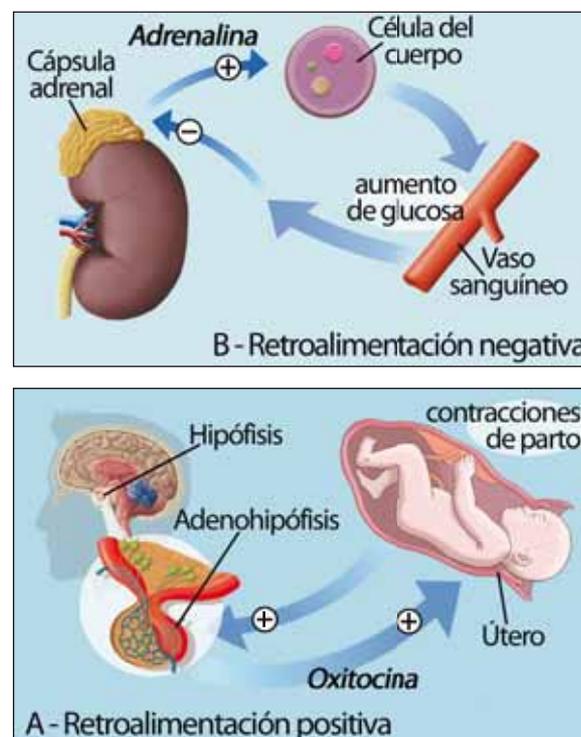
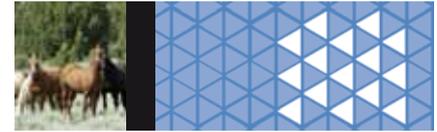


Fig. 15.16. Control de la secreción hormonal por retroalimentación: a) negativa y b) positiva.

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino



#### ►► Hormonas de invertebrados

En contra de la creencia general, las hormonas no son exclusivas de los vertebrados y ni tan siquiera del mundo animal; la insulina, por ejemplo, se ha encontrado en bacterias, protocistas y hongos, aunque aún no se conoce cuál es su función en estos organismos.

En los invertebrados, las hormonas juegan un papel fundamental pues regulan la mayoría de los procesos fisiológicos, como la metamorfosis, la muda, el envejecimiento, la reproducción, la puesta, el cuidado de los huevos, y, en su mayoría, son secretadas directamente al torrente circulatorio por los axones de neuronas secretoras. En grupos más avanzados, la actividad neurosecretora se complementa con glándulas que poseen función endocrina.

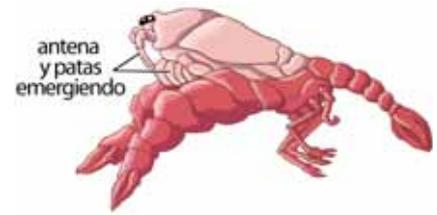
En los anélidos, algunas neuronas situadas en el ganglio cefálico secretan hormonas implicadas en el crecimiento y desarrollo del animal.

El control endocrino de la madurez sexual de los **cefalópodos** reside en un par de **glándulas ópticas** situadas cerca de los ojos. Estas glándulas secretan el factor gonadotrópico, hormona que desencadena el desarrollo de los testículos y de los ovarios que, a su vez, estimulan la síntesis de hormonas sexuales. La actividad de las glándulas ópticas está regulada por la luz: la hormona se produce en la oscuridad, pero su secreción se inhibe en presencia de luz intensa. El significado biológico de esta regulación es claro. Sólo compensa producir el factor gonadotrópico en condiciones de oscuridad, que supone que las hembras reproductoras están resguardadas en cuevas, fuera del alcance de posibles depredadores.

Las glándulas ópticas regulan muchos otros procesos, como el cuidado de los huevos, el metabolismo o el envejecimiento y la muerte, asociados al fin de la etapa reproductora, lo que ha llevado a muchos zoólogos a relacionarlas funcionalmente con una de las glándulas más importantes en el control endocrino de vertebrados, la hipófisis.

En los **artrópodos**, las hormonas mejor conocidas son las encargadas del ciclo de la muda y de la metamorfosis:

- La **muda** es una etapa crítica para los artrópodos porque se encuentran totalmente desprotegidos, lo que explica el estricto control hormonal al que está sometido este proceso, que se ha estudiado con detenimiento en el grupo de los **crustáceos**. Los ciclos de crecimiento y muda están regulados por dos hormonas distintas. Cuando en el medio existen factores ambientales apropiados para el crecimiento, como la luz o la concentración de determinados nutrientes, se estimulan las neuronas secretoras de los pedúnculos oculares y de los ganglios cerebrales, que responden produciendo la **hormona inhibitoria de la muda (MIH)**. Esta hormona se almacena en una glándula, llamada **órgano X**, que es la que se encarga de verter la secreción a la hemolinfa. Cuando los tejidos presionan un exoesqueleto que se va quedando pequeño, el animal se esconde en busca de refugio (los camarones, por ejemplo, se entierran en la arena). La falta de luz inhibe la secreción de MIH y activa el **órgano Y** (situado cerca de las mandíbulas), que produce la segunda hormona implicada, la **ecdisona**, provocando la muda.



**Fig. 15.17.** Los artrópodos recubren su cuerpo blando con un exoesqueleto de quitina que protege al animal. El inconveniente de esta coraza rígida es que, al no poder expandirse, debe cambiarse periódicamente para que el animal pueda crecer. Al cambio de exoesqueleto se denomina **muda o ecdisis**.



**Ecdisis:** del griego *ekdyein*, 'desnudarse'.



Algunos invertebrados pasan por una etapa de **larva**, un tipo de forma inmadura, por lo que deben sufrir una serie de transformaciones corporales severas para convertirse en adultos. A todo este proceso se le denomina **metamorfosis**.

La metamorfosis es **sencilla**, en aquellos invertebrados en los que la larva es muy parecida al adulto, como es el caso de crustáceos y saltamontes, o **compleja**, cuando la larva nada tiene que ver con el adulto, como ocurre en mariposas y moscas. En este caso, antes de alcanzar la madurez, la larva pasa por una fase de aletargamiento llamada **pupa o crisálida**.

#### Actividades

4> ¿Qué le ocurriría a un cangrejo de río si se le extirparan los pedúnculos oculares?



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino

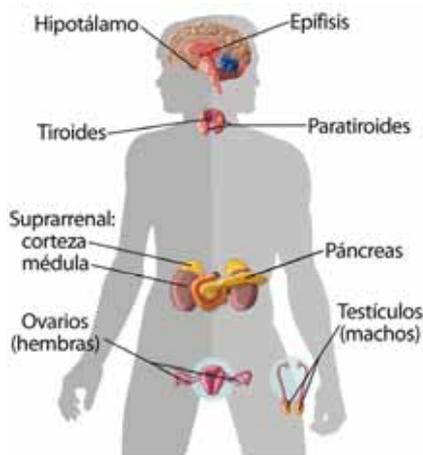


Fig. 15.19. Principales glándulas endocrinas en la especie humana.

#### La tiroxina: una hormona multiusos

La **tiroxina** es una de las hormonas sintetizadas por la glándula tiroides a partir del aminoácido tirosina y de yodo. Los efectos de esta hormona son completamente diferentes en cada grupo de vertebrados.

En los **peces** que sufren cambios fisiológicos drásticos durante su ciclo vital, como los salmones, interviene en la osmorregulación; en **anfibios**, activa la metamorfosis y retrasa el crecimiento; en **reptiles**, controla la muda; y en **aves** y **mamíferos**, estimula el aumento del consumo de oxígeno por las células, y mantiene así la temperatura corporal; además, favorece la caída y regeneración del plumaje y el pelaje.

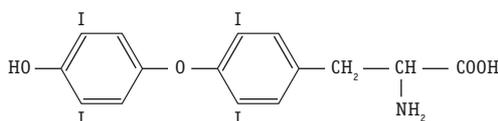


Fig. 15.20. Fórmula química de la tiroxina.

- En la compleja **metamorfosis de los insectos** intervienen varias hormonas producidas por neuronas secretoras y glándulas endocrinas (véase Figura 15.18). Las neuronas secretoras de los ganglios cerebrales producen la hormona **ecdisiotropina**, que se acumula en los cuerpos alados, unos órganos pares situados a ambos lados del «cerebro». Bajo la acción de la ecdisiotropina, las glándulas protorácicas, unas glándulas endocrinas situadas en la cabeza, secretan ecdisona. Los efectos de la hormona de la muda varían en función de la concentración de una segunda hormona, la **neoteniina** u hormona juvenil, producida por los cuerpos alados, en la hemolinfa. Cuando los cuerpos alados dejan de producir neoteniina, la larva ya no experimenta una simple muda, sino que comienza su metamorfosis.

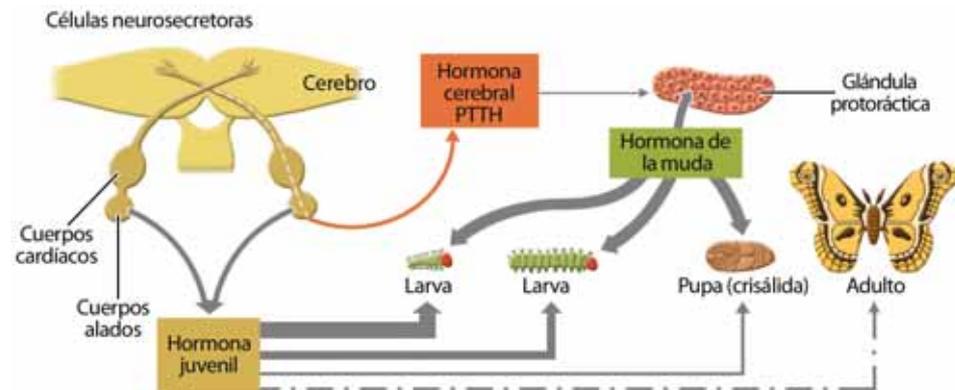


Fig. 15.18. Regulación de la metamorfosis de una mariposa hembra de *Papilio machaon*.

## ►► Hormonas de vertebrados

La mayoría de las hormonas de los vertebrados se produce en glándulas endocrinas que se encuentran distribuidas por todo el cuerpo, y se encargan de regular procesos como la reproducción, el desarrollo del embrión, el crecimiento, el metabolismo, la osmorregulación, la digestión o la metamorfosis.

### ►►► Principales hormonas en vertebrados

Todos los vertebrados poseen hipófisis, tiroides, paratiroides, glándulas adrenales, páncreas y gónadas y, aunque las hormonas que se sintetizan en estas glándulas son químicamente idénticas, poseen efectos completamente distintos según el grupo animal que las secrete (véanse Figura 15.19 y Tabla 15.3).

### ►►► Regulación del sistema endocrino de los vertebrados: el eje hipotálamo-hipofisiario

El sistema endocrino de los vertebrados se encuentra bajo el control del sistema nervioso central, y en él participan el hipotálamo y una pequeña glándula asociada, la hipófisis (véase Figura 15.21).

- El **hipotálamo** secreta varias hormonas, los factores de liberación, que actúan sobre la hipófisis, y la vasopresina o ADH y la oxitocina, cuyos órganos diana son el riñón y el útero respectivamente.
- La **hipófisis** es una pequeña glándula, presente en todos los vertebrados, situada en la base del cerebro, justamente debajo del hipotálamo. Está constituida por dos partes, la adenohipófisis y la neurohipófisis, que poseen un origen embrionario diferente.

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino



- La **adenohipófisis**, procede embriológicamente del paladar y está formada por dos lóbulos: anterior e intermedio. El lóbulo anterior secreta seis hormonas: cuatro de ellas regulan la acción de otras glándulas endocrinas y por eso reciben el nombre de **hormonas trópicas**: la tiropropina o TSH regula la síntesis de hormonas del tiroides; la hormona adenocorticotropa o ACTH estimula la corteza adrenal; y la hormona estimulante de los folículos o FSH y la hormona luteinizante o LH regulan la secreción en los testículos y los ovarios. Las dos hormonas restantes son la prolactina y la hormona de crecimiento o GH, que estimulan órganos no endocrinos.

El lóbulo intermedio de la adenohipófisis secreta la hormona estimulante de los melanocitos o MSH que estimula la síntesis de melanina responsable de la pigmentación de la piel.

- La **neurohipófisis**, que procede embriológicamente del cerebro, es el lugar de almacenamiento de la vasopresina (estimula la absorción de agua en el riñón) y la oxitocina (favorece la expulsión del feto durante el parto y la secreción de leche durante el amantamiento de las crías en los mamíferos) producidas por el hipotálamo.

Los factores de liberación del hipotálamo son conducidos por los axones de las neuronas secretoras hasta una red de capilares, que constituye el **sistema porta-hipofisiario**, que irrigan la adenohipófisis. La vasopresina y la oxitocina no alcanzan la neurohipófisis por vía sanguínea, sino que son secretadas directamente por los axones de las células productoras del hipotálamo.

Veamos con un ejemplo concreto cómo funciona el **eje hipotálamo-hipofisiario** (véase Figura 15.21):

Cuando sales de tu casa en un día de frío invierno, tu cuerpo sigue manteniendo su temperatura constante de 36 °C. Cuando el hipotálamo recibe la información procedente de los receptores del frío, comienza a sintetizar el factor liberador de la tirotrópina, que viaja por el sistema porta-hipofisiario al lóbulo anterior de la adenohipófisis. Una vez allí, estimula la síntesis de la hormona estimulante del tiroides (TSH), que, a través del torrente circulatorio, alcanza el tiroides, que una vez estimulado comienza a secretar tiroxina. La tiroxina vía sanguínea estimula todas las células del cuerpo y su ritmo metabólico se incrementa: aumenta la degradación de glucosa y se produce energía en forma de calor. Además, el hipotálamo también envía señales nerviosas a los vasos sanguíneos para que se constriñan, y a los músculos para que se contraigan (escalofríos), mecanismos que evitan la pérdida de calor.

Cuando los niveles de tiroxina en sangre son muy elevados o la temperatura corporal es muy alta, la propia tiroxina inhibe su síntesis a tres niveles: a nivel de hipotálamo, de hipófisis y de glándula tiroides. En este caso, el hipotálamo también envía señales nerviosas a los vasos sanguíneos de la piel, que se dilatan, y a las glándulas sudoríparas, que empiezan a producir sudor, y el organismo se refresca.

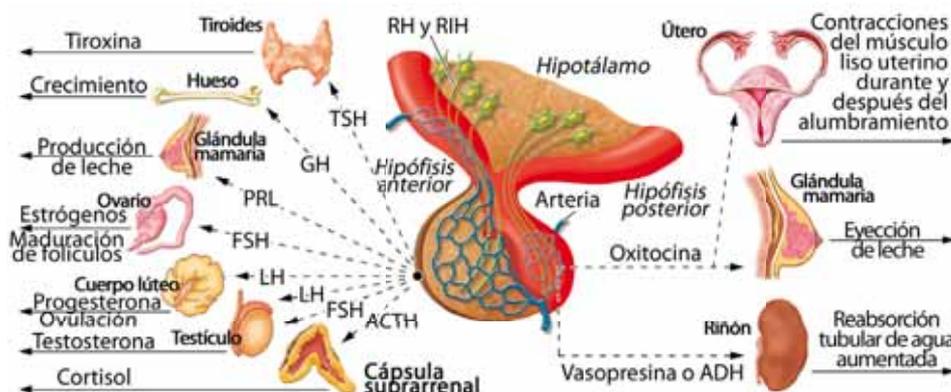


Fig. 15.21. El eje hipotálamo-hipofisiario.

El alcohol inhibe la acción de la ADH porque bloquea los receptores celulares de esta hormona, por lo que favorece la eliminación de grandes cantidades de orina e incrementa el peligro de deshidratación. Así que, paradójicamente, una persona que ha ingerido grandes cantidades de alcohol eliminará más líquido por la orina del que ha tomado.

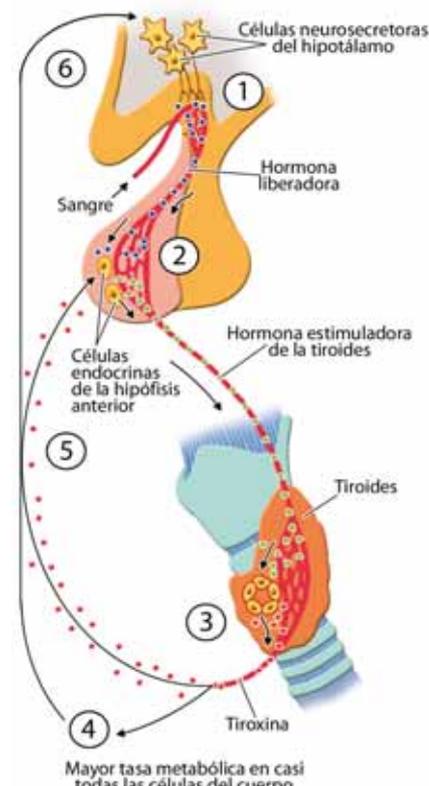


Fig. 15.22. Regulación de la glándula tiroides.



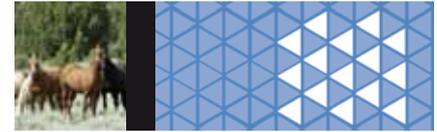
## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino

GLÁNDULA ENDOCRINA		HORMONA	NATURALEZA QUÍMICA	ÓRGANO DIANA	FUNCIONES PRINCIPALES	
Hipotálamo		Factores de liberación	Péptidos	Adenohipófisis	Estimulan o inhiben la producción de hormonas de sus órganos diana	
		ADH o vasopresina	Péptido	Riñón	Favorece la absorción de agua en el túbulo colector de la nefrona	
		Oxitocina	Péptido	Útero y glándulas mamarias	Favorece la expulsión del feto durante el parto y la secreción de leche durante el amamantamiento de las crías de mamífero	
Hipófisis	Neurohipófisis	Almacena y libera ADH y oxitocina sintetizadas por las neurohormonas del hipotálamo				
	Adenohipófisis	Lóbulo medio	H. estimulante de los melanocitos (MSH)	Péptido	Melanocitos	Estimula la síntesis de melanina responsable de la pigmentación (muy importante en peces, anfibios y reptiles)
		Lóbulo anterior	H. estimulante del tiroides (TSH)	Proteína	Tiroides	Estimula la síntesis de las hormonas tiroideas
			H. estimulante del folículo (FSH)	Proteína	Ovario y testículo	Estimula la síntesis de estrógenos en hembras y la maduración de espermatozoides en machos
			H. luteinizante (LH)	Proteína	Ovario y testículo	Estimula la síntesis de progesterona por el cuerpo lúteo en hembras y la síntesis de testosterona en machos
			H. adenocorticotropa (ACTH)	Proteína	Corteza de las glándulas adrenales	Estimula la síntesis de glucocorticoides
			H. de crecimiento (GH)	Proteína	Todo el organismo	Estimula el desarrollo de los músculos y de los huesos
			Prolactina	Proteína	Glándulas mamarias	En mamíferos, estimula el desarrollo de las glándulas mamarias durante la gestación y la producción de leche. En aves, estimula la secreción de una sustancia nutritiva en el buche y está relacionada con la incubación de los huevos. En reptiles, favorece la regeneración de la cola. En anfibios regula el crecimiento
Tiroides		Tiroxina y triyodotironina	Aminoácido	Todo el organismo	Estimula el crecimiento de todos los vertebrados, excepto anfibios, donde estimula la metamorfosis. Estimula el metabolismo generando calor	
		Calcitonina	Péptido	Huesos	Disminuye el calcio en la sangre favoreciendo su fijación en los huesos	
Paratiroides		Parathormona	Péptido	Huesos, riñones y aparato digestivo	Efecto contrario al de la calcitonina	

## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino



GLÁNDULA ENDOCRINA		HORMONA	NATURALEZA QUÍMICA	ÓRGANO DIANA	FUNCIONES PRINCIPALES
Glándulas adrenales	Corteza	Glucocorticoides (cortisona)	Esteroides	Todo el organismo	Regula el metabolismo de los glúcidos, lípidos y proteínas. Controla las inflamaciones
		Mineralocorticoides (aldosterona)	Esteroides	Túbulo renal	Aumenta la reabsorción de sales en el riñón
	Médula	Adrenalina y noradrenalina	Aminoácidos	Músculos, vasos sanguíneos y corazón	Prepara al organismo en estados de alerta aumentando la cantidad de glucosa en sangre, la presión sanguínea y los latidos cardiacos
Páncreas		Insulina	Péptido	Todo el organismo	Disminuye la concentración de glucosa en sangre favoreciendo su entrada en las células
		Glucagón	Péptido	Hígado y adipocitos	Función contraria a la insulina
Gónadas	Ovarios	Estrógenos	Esteroides	Útero	Determina los caracteres sexuales femeninos
		Progesterona	Esteroides	Útero	Prepara el útero para el embarazo
	Testículos	Testosterona	Esteroides	Testículos	Determina los caracteres sexuales masculinos
Placenta		Gonadotropina coriónica	Péptido	Cuerpo lúteo	En mamíferos, mantiene las estructuras durante las primeras etapas del embarazo

Tabla 15.3. Glándulas y hormonas más importantes en vertebrados.

## Actividad resuelta



Si observas con detenimiento la Tabla 15.3, verás que en el control del metabolismo de la glucosa intervienen distintas glándulas endocrinas (tiroides, páncreas y glándulas adrenales). ¿Cuál es el motivo de un control tan estricto?

El excelente control hormonal sobre los niveles de glucosa en sangre está más que justificado porque de ellos depende la

alimentación del cerebro. En ausencia de glúcidos, la mayoría de las células del organismo pueden conseguir energía a partir de grasas y de proteínas. Sin embargo, las neuronas sólo pueden funcionar con glucosa, por lo que las alteraciones de la concentración de glucosa son muy peligrosas y pueden, incluso, causar la muerte.

### ▶▶▶ Otras hormonas de vertebrados

Recientes investigaciones revelan la amplia variedad de órganos y células que producen hormonas. Entre ellas, las mejor estudiadas son las secretadas en los siguientes órganos:

- El **riñón**, además de su función homeostática, segrega dos hormonas: la **eritropoyetina** y la **renina**. La primera estimula la producción de glóbulos rojos, mientras que la renina participa en la regulación de la presión sanguínea.



## 15. El proceso de relación en los animales

### 15.4 El sistema hormonal o endocrino



La actividad humana ha introducido en el aire, en el agua y en los alimentos sustancias que alteran las funciones del sistema hormonal, los llamados **disruptores endocrinos**, que son frecuentes en plaguicidas, detergentes, plásticos, etc. Entre los efectos descritos, destacan la feminización de los machos, la masculinización de las hembras, cánceres en las gónadas o el aumento de la esterilidad.

- El **timo**, órgano situado cerca del corazón y cuya función principal consiste en fabricar linfocitos T (células defensivas de nuestro organismo) también sintetiza **timosina**, una hormona que estimula la diferenciación y el funcionamiento de estos linfocitos.
- El **corazón** sintetiza el **péptido natriurético auricular**, una hormona que inhibe la acción de la ADH y de la aldosterona. La distensión de las aurículas producida por un aumento del volumen sanguíneo estimula la producción de esta hormona que facilita la micción.
- El **estómago** y el **intestino delgado** secretan varias hormonas que intervienen en los procesos digestivos: la **gastrina** estimula la secreción de ácido clorhídrico en el estómago cuando entra el alimento; la **secretina**, secretada por el intestino delgado, estimula la secreción de jugo pancreático rico en bicarbonato que neutraliza el ácido estomacal, y la **colecistocinina**, otra hormona intestinal, estimula la producción de bilis por el hígado.
- Los **adipocitos** producen **leptina**, una hormona que controla el volumen de grasa en el organismo. Probablemente, la leptina también está implicada en la estimulación del sistema inmunológico, en el inicio de la pubertad y en el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios.
- La **glándula pineal** está situada entre los hemisferios cerebrales y responde a los cambios de luz. La hormona que secreta, la **melatonina**, disminuye durante el día y aumenta durante la noche y está involucrada en los ciclos reproductivos, en la regulación del sueño y en los ritmos circadianos. La producción de esta hormona disminuye con la edad.



## Actividad resuelta

**Un becario del departamento de endocrinología de la facultad de medicina se encuentra en la fase final de su tesis doctoral. Trabaja doce horas diarias y, a la preocupación por la defensa de su trabajo, se une la preocupación por un futuro laboral incierto. Últimamente, observa que duerme mal y que enferma con mucha facilidad. ¿Qué le está ocurriendo?**

Este estudiante está sufriendo los efectos del estrés crónico. A pesar de su mala fama, el estrés es una respuesta útil que forma parte de nuestra herencia evolutiva y que nace como resultado de cualquier alteración de los sistemas fisiológicos del cuerpo.

Ante una situación de peligro, por ejemplo, se pone en marcha el mecanismo de estrés: el hipotálamo estimula, por un lado, la rama simpática del sistema nervioso autónomo y, por otro, las glándulas adrenales que producen adrenalina y cortisol. Como resultado, se aceleran el ritmo cardíaco y la frecuencia respiratoria y se eleva la presión arterial para conseguir un estado de alerta que nos ayude a huir del peligro.

En una situación de estrés, el cortisol ayuda a mantener una alta actividad metabólica porque estimula la degradación de proteínas en aminoácidos (que pueden usarse en la síntesis de enzimas o reconvertirse en glucosa); además, el cortisol inhibe la respuesta inmunitaria y suprime el proceso inflamatorio. Cuando el estrés es crónico, este segundo efecto, que en condiciones normales controla la respuesta inmunitaria (un tipo de interleuquina activa la producción de cortisol y éste inhibe la producción de más interleucina), se acentúa y el organismo tiende a enfermar.

Éste no es el único ejemplo de la interacción que existe entre los sistemas nervioso, hormonal e inmunológico, y cada vez es más evidente que nuestras emociones y nuestro modo de afrontar los problemas pueden afectar nuestra salud. Se ha comprobado científicamente que el optimismo mejora el estado de pacientes con cáncer.

## 15. El proceso de relación en los animales

Actividades



### Actividades finales

- 1> ¿Por qué se hace necesaria la comunicación entre las células de los organismos multicelulares?
- 2> Define:
  - Neurona
  - Hormona
  - Neurotransmisor
  - Glándula endocrina.
- 3> ¿Qué significa que la bomba de  $\text{Na}^+/\text{K}$  trabaja contra gradiente?
- 4> Greta Garbo, en la película *Ninotchka*, afirma que el amor es la designación romántica de unos cuantos procesos químicos ordinarios. ¿Estás de acuerdo con dicha afirmación? Justifica su respuesta.
- 5> Señala las tendencias evolutivas que se observan en la evolución del sistema nervioso de los vertebrados y explica su significado biológico.
- 6> El curare es un veneno de origen vegetal que bloquea los receptores de acetilcolina. ¿A qué atribuyes que algunas tribus cazadoras de Suramérica usen esta sustancia en la punta de sus flechas?
- 7> Indica el tipo de sistema nervioso que posee: una esponja de baño; una medusa; la lombriz de tierra; un escarabajo pelotero; un pulpo; y un atún.
- 8> Haz una clasificación del sistema nervioso de los vertebrados y explica brevemente la función de cada una de sus regiones.
- 9> Sin darte cuenta, te has pillado un dedo de la mano al cerrar la puerta. Retiras la mano y te lamentas de tu mala suerte. Indica todos los elementos nerviosos implicados en estas respuestas.
- 10> Indica la región del sistema nervioso implicada cuando:
  - a) Un ave no puede volar pero bate sus alas desordenadamente.
  - b) La mitad derecha de nuestro cuerpo está paralizada.
  - c) Podemos concentrarnos en el estudio a pesar de los ruidos externos.
  - d) Un toro de lidia, tras recibir la puntilla, cae al suelo.
  - e) Nos enamoramos.
- 11> En *Hannibal*, la famosa película de Ridley Scott, Anthony Hopkins, a medida que cena rebanadas de la corteza cerebral de su víctima, observa que ésta va presentando deficiencias mentales específicas, como problemas en el habla, dificultad para leer o incapacidad para mover algunas zonas del cuerpo, sin embargo, el sujeto permanece con vida. ¿Tiene alguna base científica esta historia o es pura fantasía?
- 12> Busca información sobre las aplicaciones terapéuticas de las prostaglandinas.
- 13> ¿Por qué se administra adrenalina durante una crisis asmática?
- 14> Un estudiante de fisiología animal está investigando cómo influyen algunas sustancias en la metamorfosis de los anfibios. Para ello, somete a un grupo de renacuajos a tres condiciones diferentes:
  - a) Caso 1: los renacuajos son alimentados con insectos y son mantenidos en una urna con agua de charca que intenta reproducir las condiciones naturales de la especie.
  - b) Caso 2: los renacuajos son alimentados con tiroides de caballo, y se mantienen las condiciones naturales de su ambiente.
  - c) Caso 3: los renacuajos son alimentados con insectos pero, además, viven en agua pobre en yodo. Explica cómo influirán las condiciones recreadas por el estudiante en la metamorfosis de los renacuajos.
- 15> Cita las hormonas y glándulas endocrinas que intervienen en:
  - a) El metabolismo del calcio.
  - b) La digestión.
  - c) La reproducción.
- 16> ¿Por qué las cucarachas huelen mal?



## 15. El proceso de relación en los animales

### Actividades

**17>** El 23 de agosto de 2005 el diario francés *L'Equipe* aseguraba que Lance Armstrong tomó EPO durante el Tour de 1999.

- ¿Qué hormona es la EPO?
- ¿Con qué parámetro sanguíneo se detecta esta sustancia?
- ¿Qué alteraciones provoca una concentración alta de esta hormona en el organismo?
- Busca información sobre los efectos de la administración de otras hormonas prohibidas por la Agencia Mundial Antidopaje que se hayan utilizado para mejorar el rendimiento deportivo.

**18>** Ana lleva una temporada sintiéndose muy cansada, su sed es insaciable y, aunque come a todas horas, ha perdido diez kilos en un mes. Su médico de atención primaria la ha remitido a su endocrino. ¿Qué le está pasando a Ana? Busca en la web otras enfermedades endocrinas

producidas por hipo o hiperfunción de la hipófisis, tiroideas, cápsulas adrenales y gónadas en humanos.

**19>** ¿Por qué a las personas mayores les cuesta conciliar el sueño?

**20>** Los biólogos que estudian la flora y la fauna de un paraje natural han detectado una disminución drástica de la población de ranitas de San Antón (*Hyla arborea*) en la zona del río cercana a una industria química que se dedica a la fabricación de plásticos. Los científicos se dieron cuenta que los huevos de rana no eclosionaban y que si lo hacían, los machos tenían rasgos femeninos (con una alta concentración de estrógenos en sangre) y las hembras también tenían una alta concentración de esta hormona y ovarios anormales que les impedían reproducirse. Establece una hipótesis que explique lo que puede estar pasando.



### PAU Universidad de León: junio de 1995

#### La sinapsis

##### Centra la pregunta

Esta pregunta se responde con los conocimientos adquiridos en este tema dentro del apartado sobre la coordinación nerviosa y, en concreto, sobre cómo se transmite el impulso nervioso.

##### Debes recordar

Los conceptos de impulso nervioso, neurona presináptica, neurona postsináptica, botón terminal y neurotransmisor.

##### Resuelve la pregunta

La zona de contacto entre dos neuronas se llama sinapsis, y mediante ella se produce la transmisión del impulso nervioso de una neurona a la siguiente.

En una sinapsis podemos distinguir los siguientes elementos: el botón terminal del axón de la neurona presináptica, con numerosas vesículas cargadas de neurotransmisores, el espacio existente entre las dos neuronas, o espacio sináptico, y la membrana de la neurona postsináptica, que contiene receptores para los neurotransmisores.

Cuando el impulso nervioso llega al final de la neurona presináptica, el botón terminal adquiere carga positiva, lo que provoca la apertura de las vesículas y la liberación de los neurotransmisores al espacio sináptico. Las moléculas de neurotransmisor se encajan en sus receptores de la membrana de la neurona postsináptica. Esta unión provoca la apertura de canales iónicos y el establecimiento en la segunda neurona de un potencial de acción, con lo que el mensaje seguirá su curso.



## Las madres no nacen, se hacen

En los mamíferos, desde las ratas hasta los monos y los humanos, las hembras experimentan cambios de comportamiento durante el embarazo y la maternidad. Esta experiencia transforma organismos autónomos dedicados a sus necesidades y supervivencia en individuos centrados en el cuidado y bienestar de su prole.

De acuerdo con una investigación reciente, las drásticas fluctuaciones de estrógenos, progesterona y prolactina operadas durante el embarazo, el parto y la lactancia pueden remodelar el cerebro de la hembra mediante el aumento de tamaño de las neuronas en algunas regiones y la producción de cambios estructurales en otras. De estas regiones, unas se hallan implicadas en los procesos mentales que rigen la construcción del nido, la higiene de las crías o la protección frente a depredadores. Otras, en cambio, controlan la memoria, el aprendizaje y las respuestas ante el miedo y el estrés. Estos cambios persisten hasta que la madre llega a la vejez. De hecho, se ha sugerido que el desarrollo de la conducta materna constituyó uno de los principales motores de la evolución del cerebro en mamíferos.

Además de las hormonas sexuales femeninas, intervienen en la estimulación de los impulsos maternos otras moléculas que afectan al sistema nervioso. Es el caso de las endorfinas, que son proteínas producidas en la hipófisis y en el hipotálamo que provocan un efecto analgésico durante el parto y están implicadas en activar el comportamiento maternal.

También se han identificado las regiones cerebrales que gobiernan esta conducta. La responsabilidad de esta actividad compete a una región del hipotálamo llamada área preóptica medial (APOm). Intervienen otras zonas del cerebro donde abundan receptores para hormonas así como diferentes sustancias que afectan al sistema nervioso central, como son la zona, la corteza cingulada, reguladora de las emociones, y el nucleus accumbens, región clave para activar el sistema de motivación y recompensa.

Una vez que las hormonas reproductoras inician la respuesta materna, la dependencia del cerebro hacia ellas parece disminuir; la prole estimula, desde entonces, el comportamiento maternal. Aunque el mamífero recién nacido requiere mucha atención y resulta poco atractivo, la inclinación de la madre hacia la cría es prioritaria entre todas las manifestaciones animales, incluidos el comportamiento sexual y la alimentación.

En opinión de muchos expertos, cuando las crías se alimentan de la leche materna pueden provocar la liberación de pequeñas cantidades de endorfinas en la madre. Tales moléculas naturales pueden actuar de forma parecida a un opiáceo, impulsando a la madre a establecer contacto una y otra vez con sus crías. La acción de amamantar y el contacto con las crías provocan también la liberación de la oxitocina, hormona que puede producir el mismo efecto en la madre, además de favorecer las contracciones durante el parto y la secreción de leche.



¿Qué cambios se producen en el cerebro de una madre? La interacción de las hormonas con ciertas regiones del cerebro estimulan su capacidad cognitiva: son eficaces depredadoras, mejoran la memoria y el aprendizaje, demuestran menos miedo y ansiedad ante situaciones de estrés y agudizan sus capacidades sensoriales respecto a las hembras sin hijos.

En resumen, la experiencia reproductora promueve cambios en el cerebro de los mamíferos que alteran el comportamiento y la destreza de las hembras. Para éstas el mayor desafío consiste, desde un punto de vista evolutivo, en asegurar la prosperidad de su inversión genética. La conducta maternal ha evolucionado para incrementar las posibilidades de éxito de la hembra. Ello no significa que las madres sean mejores que las hembras sin descendencia en la realización de cualquier tarea; lo más probable es que se potencien los comportamientos que afectan a la supervivencia de la camada.

Adaptado de KINSLEY, C.H. y LAMBERT, K.G.:  
«El cerebro materno», en *Investigación y Ciencia*,  
Madrid, núm. 354 (marzo, 2006).

- Analiza la frase: «Para éstas, el mayor desafío consiste, desde un punto de vista evolutivo, en asegurar la prosperidad de su inversión genética».
- Dibuja un encéfalo humano y señala las partes de este órgano mencionadas en el texto.



## 15. El proceso de relación en los animales

Trabajo de laboratorio



### Trabajo de laboratorio

#### Disección de encéfalo de cordero

El sistema nervioso central de los vertebrados está formado por una estructura de tipo tubular que se ensancha en la región anterior y constituye el encéfalo, y una parte posterior estrecha llamada médula. Ambos órganos están protegidos por las meninges, que son tres envolturas membranosas (duramadre, piamadre y aracnoides), y una estructura ósea (el cráneo, en el encéfalo, y la columna vertebral, en la médula).

#### Objetivo

Reconocer las partes principales del encéfalo de mamífero.

#### Materiales

- Encéfalo congelado de cordero.
- Bandeja y plancha de disección.
- Bisturí.
- Guantes de látex.

#### Procedimiento

- a) Coge el encéfalo de cordero, previamente congelado, y distingue la zona dorsal de la ventral.
- b) Observa la zona dorsal e identifica las circunvoluciones, los surcos, los lóbulos (frontal, parietal, temporal y occipital), el cerebro, los hemisferios cerebrales, el cerebelo, el bulbo raquídeo y la médula espinal.

- c) Observa la zona dorsal y distingue: lóbulos olfativos, nervios ópticos, nervios craneales, cerebelo, bulbo raquídeo, hipófisis y médula espinal.
- d) Coloca el encéfalo sobre la plancha de disección (que previamente habrás colocado en la bandeja) y haz un corte longitudinal del cerebro con ayuda del bisturí. Observa la distribución de la sustancia gris y la sustancia blanca.
- e) Localiza la médula espinal y realiza un corte transversal; observa la disposición de la sustancia gris y la sustancia blanca en esta parte del sistema nervioso central.
- f) Compara la disposición de las sustancias gris y blanca en el encéfalo y en la médula.

#### Resultados

Haz dibujos de la zona dorsal y ventral del encéfalo y señala todas la partes que has identificado durante la disección, así como de los cortes longitudinal del cerebro y transversal de la médula.

#### Conclusiones

- ¿Qué es la meningitis?
- ¿Por qué el encéfalo de cordero está tan irrigado?
- ¿Qué es la sustancia blanca?
- ¿Qué es la sustancia gris?
- ¿Cómo se distribuyen ambas sustancias en el sistema nervioso central?

