1 La relación en animales

La comunicación entre las hormigas

Cuando una hormiga tejedora africana se encuentra con otra de su especie, deposita una sustancia química en el suelo como mensaje para su compañera y realiza un movimiento que puede consistir en una pequeña danza o en un toque en las antenas de la otra.

Los entomólogos Bert Hölldobler y Edward Wilson descubrieron al menos cinco mensajes diferentes posibles entre las hormigas; entre ellos: "¡Sígueme!, he encontrado comida", "¡Ven!, sé de un buen lugar para construir un nido", "¡Alarma!, hay hormigas enemigas cerca".

Hormigas tejedoras construyendo un nido.

Al igual que en las plantas y otros organismos, la función de relación en los animales consiste en un proceso que implica varias fases:

- La **recepción** de estímulos o señales a través de receptores.
- La **coordinación**, que implica integrar la información y elaborar la respuesta.
- La **respuesta** a través de los efectores, que pueden ser músculos o glándulas.

Los receptores sensoriales de los animales son más sofisticados que los de las plantas, y su grado de elaboración de respuestas, así como la complejidad de estas, es también mayor.

Estímulo visual (insecto) → Receptor (ojo) → Impulso nervioso → Vía sensitiva → Centro nervioso (médula o encéfalo) → Elaboración de respuesta → Vía motora → Efectores (músculos de la lengua) → **Respuesta**: caza.

Figura 10.2. Del estímulo a la respuesta.

1.1. Tipos de estímulos y de receptores

Los estímulos son las señales a las que son sensibles los animales. Dentro de su amplia variabilidad, los estímulos pueden ser externos o internos:

- **Estímulos externos.** Son la luz, vibraciones como el sonido, el contacto físico, la temperatura, el campo magnético, etc. Son detectados por órganos sensoriales que se denominan **exterorreceptores** o **exteroceptores**.
- **Estímulos internos.** Se trata de señales internas originadas en el propio cuerpo. Pueden distinguirse dos grandes grupos:
  - Estímulos de variables físico-químicas, como la presión, la temperatura, el pH, las sustancias químicas, etc. Son detectados por **interorreceptores** o **interoceptores**.
  - Estímulos que informan sobre la posición relativa de las partes del cuerpo. Los receptores que los detectan se sitúan en los músculos, las partes esqueléticas y las articulaciones, y se denominan **propiorreceptores** o **propioceptores**.

Dependiendo del estímulo que perciban, los receptores tienen nombres específicos: los **fotorreceptores** captan la luz, los **quimiorreceptores** detectan olores y sabores, los **mecanorreceptores** captan presión, tacto y vibraciones, los **termorreceptores** captan cambios de temperatura, etc.

Los receptores de los órganos sensoriales transforman los estímulos que reciben en **impulsos nerviosos**.

ACTIVIDADES

5. Demuestra con una experiencia sencilla que las hormigas se comunican e intercambian información ente ellas.
6. Si recibimos un golpe en un ojo "vemos las estrellas", algo así como luces. ¿Por qué?
7. ¿Qué ocurriría si se secciona el nervio óptico (vía sensitiva) que va desde la retina de los ojos del camaleón hasta su cerebro? ¿Qué demuestra eso?

1.2. Los sistemas de coordinación

La **coordinación** implica interpretar la señal recibida por un receptor e integrarla en un sistema de toma de decisiones que emitirá una orden a un efector para responder mediante un movimiento muscular o una secreción glandular.

En relación con la transmisión de la información, en animales existen dos mecanismos de coordinación:

- **Sistemas de transmisión química u hormonal.** Una serie de **glándulas endocrinas** (de secreción interna) especializadas producen y liberan sustancias químicas mensajeras u **hormonas**.

Aunque son liberadas a los espacios intercelulares y circulatorios y se extienden por el interior del organismo, las hormonas solo tienen efecto sobre determinadas células u órganos "blanco", específicos para cada hormona y que reaccionan mediante una secreción o una contracción.

Al utilizar el sistema circulatorio, este sistema no precisa de un "cableado" específico y determina una respuesta general, pero su transmisión es más lenta que los impulsos nerviosos y el control de su señal es más difícil y precario.

- **Sistemas de transmisión nerviosa.** La información es transmitida por vía eléctrica. Consiste en el cambio de polaridad o diferencia de carga eléctrica a ambos lados de la membrana de unas células especializadas y comunicadas entre sí llamadas **neuronas**.

Figura 10.3. El estado de alerta es una respuesta a un estímulo amenazador.

El **impulso nervioso** se transmite de forma muy rápida a través de **nervios**. Este sistema de "cables" está constituido por la interconexión de células nerviosas. La señal se puede dirigir al punto deseado, pero requiere de un "cableado" muy extendido para llegar a todas las zonas del cuerpo.

	SISTEMAS DE COORDINACIÓN EN ANIMALES	
	Sistema hormonal	Sistema nervioso
Vía utilizada	Medio interno	Nervios
Velocidad de la respuesta	Lenta	Rápida
Duración de la respuesta	Duradera	Poco duradera
Especificidad de la respuesta	Poco específica	Muy específica
Funciones que coordinan	Las que exigen una acción lenta continuada.	Aquellas que precisan respuestas rápidas.

• En la Web

Las endorfinas son hormonas relacionadas con los estados de placer.

• www.e-sm.net/svbg1bach10_02

1.3. Los tipos de respuesta animal

Al existir solo dos tipos de órganos efectores, las respuestas directas ante un estímulo pueden ser de dos tipos:

- **Movimiento muscular.** El órgano efector es un músculo. La respuesta es de contracción o relajación. El movimiento puede implicar desplazamiento del animal.
- **Secreción de una sustancia líquida.** El órgano efector es una glándula, que puede ser **exocrina**, si vierte su secreción al exterior (por ejemplo, las lacrimales o las sudoríparas), o **endocrina**, si la vierte al interior, en cuyo caso, la secreción puede ser, a su vez, una señal hormonal.

ACTIVIDADES

8. ¿Cuál de los sistemas de coordinación de los animales está presente también en las plantas?
9. • Cita las ventajas y las desventajas de los sistemas de transmisión endocrino y nervioso.
10. • ¿Qué diferencia funcional existe entre una glándula endocrina y una exocrina?

2 La evolución de la coordinación hormonal

En la Web

Observa el ciclo de vida de las mariposas.

www.e-sm.net/svbg1bach10_03

Los sistemas de coordinación hormonal en animales han experimentado importantes cambios a lo largo de la evolución. Posiblemente, los primeros sistemas hormonales fueron las **células neurosecretoras**, es decir, células del sistema nervioso que, además, segregaban mensajeros químicos.

Posteriormente, aparecieron las glándulas endocrinas independientes, que, en muchos casos, tienen un control nervioso a través de hormonas de neurosecreción.

La integración de señales químicas y nerviosas ha ido aumentando con la aparición de glándulas endocrinas reguladas por vía nerviosa y órganos nerviosos influidos por vía hormonal, lo que ha constituido un verdadero **sistema neuroendocrino**.

2.1. Sistemas hormonales en invertebrados

Muchos invertebrados presentan sistemas hormonales, por lo general de tipo neurosecretor, es decir, son neurohormonas segregadas por células nerviosas.

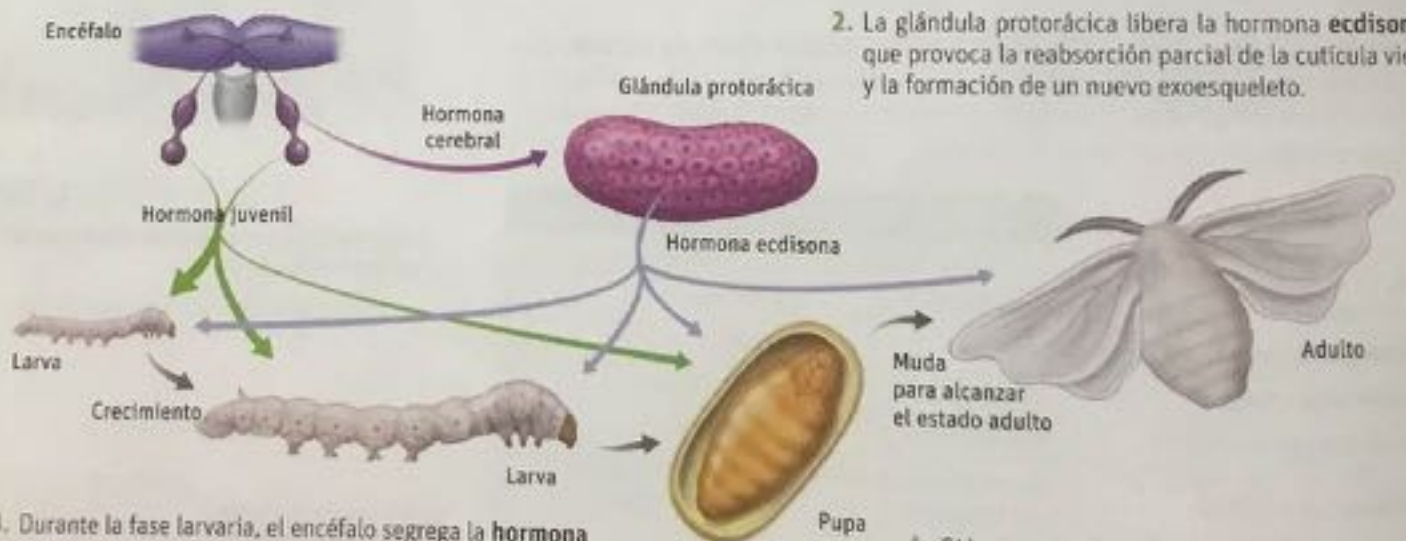
En anélidos, artrópodos y moluscos se conocen sistemas de regulación hormonal sobre aspectos como la reproducción, el crecimiento, la muda, la metamorfosis, el control del metabolismo, etc. Algunos son bastante complejos e implican una intensa relación con el sistema nervioso. Uno de los más estudiados ha sido el control de la **muda** o **ecdisis** en los insectos.

CONTROL DE LA MUDA EN LOS INSECTOS

La muda es una característica de los animales con esqueleto externo, que necesitan deshacerse de él para crecer y adaptarse al cambio de forma que supone la **metamorfosis** (transformación de larva a adulto) experimentada por algunos de estos organismos. La ecdisis o muda de los insectos presenta una regulación neurohormonal.

1. Un estímulo ambiental hace que el cerebro del insecto segregue una hormona que activa una glándula situada en el protórax, detrás de la cabeza.

2. La glándula protorácica libera la hormona **ecdisona**, que provoca la reabsorción parcial de la cutícula vieja y la formación de un nuevo exoesqueleto.



3. Durante la fase larvaria, el encéfalo segrega la **hormona juvenil**, que impulsa el paso de un estado larval de menor tamaño a otro mayor.

4. Si la cantidad de hormona juvenil disminuye, la ecdisona provoca la metamorfosis: el paso de larva a pupa y de esta, a adulto.

ACTIVIDADES

11. ¿Qué le sucederá a una larva de un gusano de seda (*Bombyx mori*) a la que se le inyecta una sustancia que inhibe su hormona juvenil?

12. ¿Qué consecuencias podríamos esperar al aumentar la concentración de hormona juvenil en las últimas etapas larvarias de un insecto?

2.2. Sistema hormonal en vertebrados

En los vertebrados, el sistema hormonal es muy complejo y su funcionamiento está relacionado con el sistema nervioso, con el cual constituye un **sistema neuroendocrino.**

Presenta una serie de células neurosecretoras y glándulas endocrinas que segregan hormonas reguladoras de otras glándulas o que producen efectos de activación o inhibición sobre procesos metabólicos, fisiológicos, de crecimiento, desarrollo, etc. Las principales glándulas en mamíferos son las siguientes:

Complejo hipotálamo-hipófisis

El **hipotálamo** pertenece al cerebro y controla casi todo el sistema hormonal. Presenta grandes células neurosecretoras productoras de **neurohormonas**, que controlan la liberación de hormonas por la **hipófisis**, como:

Somatotropina: controla el crecimiento.

Prolactina: activa la secreción de leche.

Vasopresina: favorece la reabsorción en las nefronas.

Oxitocina: facilita la expulsión de la leche y estimula las contracciones del útero.

Tirotropina: regula la secreción de tiroxina por el tiroides.

Adrenocorticotropina (ACTH): controla la secreción de cortisol por las glándulas suprarrenales.

Gonadotropinas: estimulan las gónadas.

Glándula pineal

Controla los ritmos diarios en función de los ciclos de oscuridad-luz mediante la liberación de **melatonina**.

Tiroides y paratiroides

Glándulas independientes, situadas entre la laringe y la tráquea. Desde el tiroides, mediante la **tiroxina**, se regulan muchos aspectos del metabolismo celular, y desde ambas glándulas se controla el nivel de calcio de los huesos: la **calcitonina** del tiroides inhibe su liberación y la **parathormona** del paratiroides la activa.

Glándulas suprarrenales

En su corteza se forman el **cortisol**, que actúa sobre el metabolismo de muchas biomoléculas, y la **aldosterona**, que interviene en el balance de agua y sales. En su médula se producen la **adrenalina** y la **noradrenalina** que responden a los estados de alerta del organismo.

Páncreas

Controla la concentración de glucosa en la sangre, al actuar sobre la síntesis o hidrólisis del glucógeno. La **insulina** reduce la concentración de glucosa en sangre y el **glucagón** la incrementa.

Testículos

Producen **testosterona**, la hormona que determina las características sexuales masculinas secundarias.

Ovarios

Producen **estrógenos**, que determinan las características sexuales femeninas, y **progesterona**, que prepara el útero para el embarazo.

Figura 10.4. Sistema endocrino en el ser humano.

ACTIVIDADES

13. ¿Qué glándula y qué hormona intervienen cuando una persona no está tomando alimentos que contengan suficiente calcio?

14. ¿Qué hormona está implicada en la activación del estado de alerta de una liebre que acaba de escuchar un movimiento extraño entre los matorrales?

3 La evolución del sistema nervioso

El sistema nervioso se basa en la capacidad de las células para responder individualmente a un estímulo.

La especialización de algunas células en la recepción de estímulos y en la conducción de impulsos eléctricos a lo largo de una red de células conectadas constituye la base evolutiva del sistema nervioso de los animales, que alcanza su mayor desarrollo en los vertebrados.

Figura 10.5. Plexo nervioso en una medusa.

3.1. El comienzo: las redes o plexos nerviosos

Los cnidarios presentan células nerviosas interconectadas que forman una red difusa o **plexo nervioso** (Fig. 10.5). La transmisión nerviosa se produce en todas direcciones y no existen centros de control. Enlazados a la red puede haber receptores sensoriales, como los fotorreceptores de las medusas, y células epiteliomusculares asociadas. Con ello se consiguen respuestas a diversos estímulos. En los vertebrados permanecen estructuras de este tipo en el control de los movimientos intestinales.

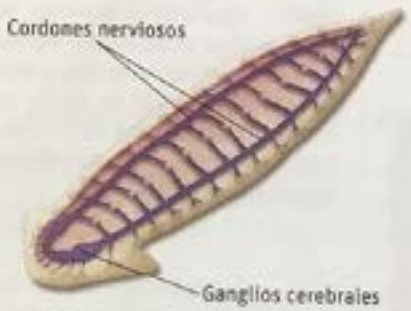


Figura 10.6. Sistema ganglionar de platelmintos.

3.2. La aparición de centros nerviosos o ganglios

El proceso de cefalización o formación de una cabeza surge en los platelmintos y provoca que en esta zona las neuronas se agrupen formando estructuras más complejas llamadas **ganglios**, precursores de los cerebros de los vertebrados. A esos ganglios cerebrales sigue una o varias cadenas de nervios que recorren el cuerpo y que pueden estar enlazados cada cierta distancia, formando una especie de escalera.

Una complicación posterior, presente en anélidos, es la aparición de nuevas estructuras ganglionares en **nodos** o puntos de conexión de los nervios, que forman así **sistemas nerviosos ganglionares**. En estos sistemas, las neuronas se especializan en transmitir sensaciones y órdenes: aparecen las vías sensoriales y las vías motoras.

Este modelo está presente también en los artrópodos, aunque sus ganglios son mayores y hay sistemas receptores más elaborados. Algunos insectos sociales, como las hormigas, las abejas y las avispas muestran comportamientos complejos, pero con importantes limitaciones.

Los equinodermos también presentan un sistema nervioso de tipo ganglionar, aunque debido a su particular simetría radial se conocen como **sistemas nerviosos radiales**.

Figura 10.7. Sistemas ganglionares de anélidos, artrópodos y equinodermos.

Figura 10.8. Sistema nervioso de un cefalópodo.

3.3. Aumento de la complejidad de las estructuras cerebrales

El conjunto de ganglios cerebrales experimenta una mayor concentración y un incremento neuronal notable en los artrópodos y, sobre todo, en los cefalópodos (Fig. 10.8). Este grupo de invertebrados presenta el mayor grado de **cefalización cerebral**, lo que les permite una conducta compleja que incluye cierta capacidad de aprendizaje. A ello se añade la presencia de órganos sensoriales muy sofisticados, como los ojos de los pulpos y los calamares.

3.4. El sistema nervioso de los vertebrados

En los vertebrados, el sistema nervioso deriva de un cordón nervioso dorsal en forma de tubo hueco presente en los embriones. Con el desarrollo, la parte anterior se ensancha en una masa ganglionar o **encéfalo** y el resto origina la **médula espinal**, todo ello protegido por el sistema óseo. Del encéfalo y la médula parten fibras que van a músculos y glándulas o vienen desde los órganos sensoriales y receptores.

El sistema nervioso de los vertebrados se puede organizar en dos partes (Fig. 10.9):

- **Sistema nervioso central (SNC).** Está formado por el **encéfalo** y la **médula espinal**.
- **Sistema nervioso periférico (SNP).** Está integrado por las **neuronas** y sus prolongaciones (**nervios**) que quedan fuera del eje dorsal del SNC. Según su función, el SNP puede subdividirse en dos ramas: las **aferentes** o **sensoriales**, que transmiten información de los órganos sensoriales hacia el sistema central, y las **eferentes** o **motoras**, que llevan órdenes hacia los órganos efectores. Estas últimas pueden conformar, a su vez, dos sistemas:
  - **Sistema nervioso somático.** Está formado por neuronas motoras que llegan a fibras musculares esqueléticas. Su control es voluntario, aunque también puede generar movimientos automáticos, denominados **actos reflejos**.
  - **Sistema nervioso autónomo.** Controla las funciones involuntarias del cuerpo que escapan a la influencia consciente del cerebro. Sus nervios se originan también a partir del encéfalo o la médula, pero establecen uniones o sinapsis fuera de ellos, en aglomeraciones de cuerpos neuronales llamados **ganglios nerviosos**. Existen dos tipos de fibras autónomas, las simpáticas y las parasimpáticas, con funciones antagónicas, de forma que si una activa un órgano, la otra lo inhibe.

Figura 10.9. Organización del sistema nervioso de un vertebrado.

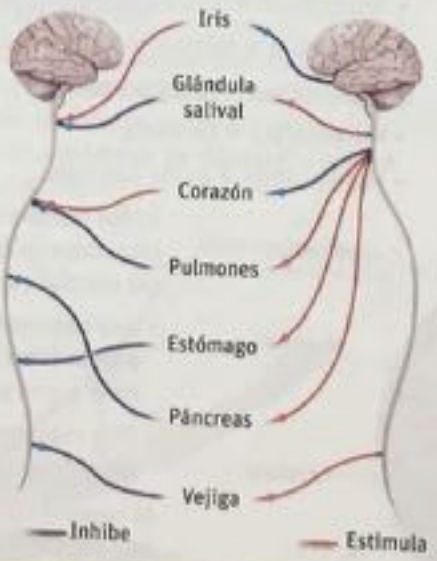
SISTEMAS ANTAGÓNICOS

Sistema simpático

Sus nervios salen de las regiones torácica y lumbar de la médula. Los ganglios, localizados entre las fibras pre y posganglionares, están cerca de la médula, por eso las fibras preganglionares son cortas y las posganglionares, largas.

Este sistema acelera la frecuencia cardiaca, dilata la pupila, inhibe la musculatura del estómago y relaja la vejiga urinaria, entre otros efectos.

Estas funciones tienen que ver con la reacción ante situaciones de alerta o miedo, similar a la que provocan las hormonas de la médula suprarrenal, con la que estos nervios comparten un mismo origen embrionario.



Sistema parasimpático

Sus nervios salen de la base del encéfalo y de la parte final, sacra o pelviana, de la médula. Los ganglios autónomos están cerca o dentro de los órganos efectores, de ahí que las fibras preganglionares sean largas y las posganglionares, cortas.

Tienen un comportamiento de excitación-inhibición antagónico al del sistema simpático. Así, retarda la frecuencia cardiaca, contrae la pupila, estimula la actividad estomacal, contrae la vejiga urinaria, etc.

Prepara al organismo para situaciones de reposo, disminuyendo la intensidad funcional de los órganos del cuerpo.

ACTIVIDADES

15. Si una glándula es activada por un nervio del sistema simpático, ¿a través de qué recibirá las órdenes de inhibición de su actividad? ¿Tendrá un control voluntario?

3.5. El encéfalo de los vertebrados

El tubo neural hueco de los embriones de los vertebrados experimenta un desarrollo en su parte anterior y origina tres protuberancias, con diferentes grados de modificación (Fig. 10.10):

- Encéfalo anterior o **prosencéfalo** (1). Relacionado con el sentido olfativo, se dividirá en dos partes: el **telencéfalo** (4) y el **diencéfalo** (5).
- Encéfalo medio o **mesencéfalo** (2). Relacionado inicialmente con la vista.
- Encéfalo posterior o **rombencéfalo** (3). Relacionado con el sentido del oído y el equilibrio, se dividirá en el **metencéfalo** (6) y el **mielencéfalo** (7).

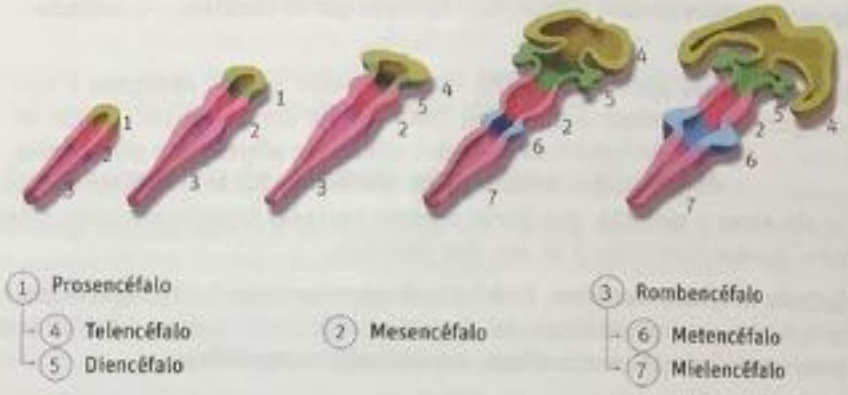


Figura 10.10. Desarrollo embrionario desde el tubo neural hasta el cerebro complejo.

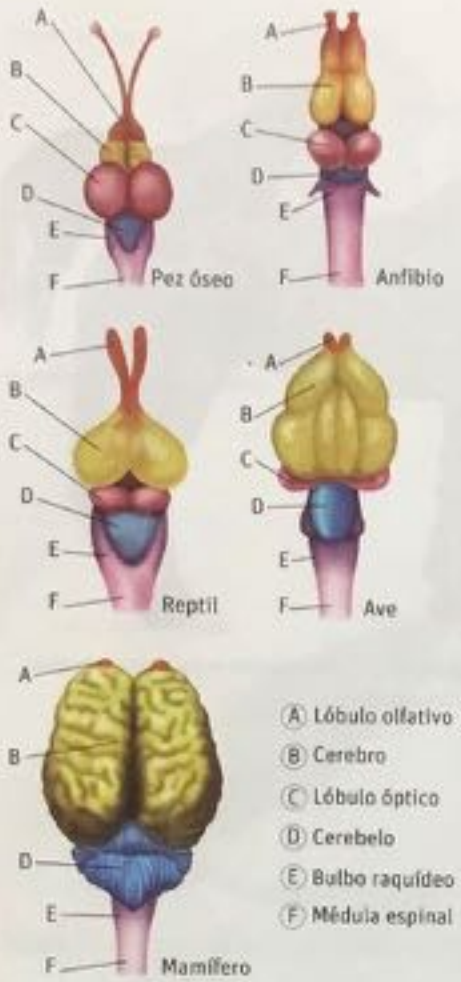


Figura 10.11. Comparación del encéfalo en cinco tipos de vertebrados.

La complicación de las estructuras del encéfalo derivadas de ese encéfalo embrionario o primitivo aumenta de acuerdo con la escala evolutiva de los vertebrados (Fig. 10.11). En los mamíferos, la evolución del encéfalo llega a su grado máximo al potenciar las áreas de interconexión neuronal y, particularmente, la zona del cerebro.

De cada área del encéfalo primitivo se originan diferentes estructuras del moderno:

- Telencéfalo → corteza cerebral, lóbulos olfativos y sistema límbico.
- Diencéfalo → tálamo, hipotálamo e hipófisis.
- Mesencéfalo → lóbulos ópticos.
- Metencéfalo → cerebelo.
- Mielencéfalo → bulbo raquídeo.

En los mamíferos, la parte anterior del encéfalo, el **cerebro**, se hiperdesarrolla y recubre la mayor parte de las otras estructuras encefálicas (Fig. 10.12). En él permanecen dos partes:

- Una pequeña, primitiva desde el punto de vista evolutivo, el **paleocórtex**, relacionada originalmente con funciones olfativas y que gobierna funciones básicas automáticas.
- Otra más desarrollada, moderna, el **neocórtex**, con funciones diferenciadas y sede de la consciencia.

El cerebro humano es la estructura de mayor complejidad conocida. Cada una de sus neuronas (entre 10 000 y 100 000 millones) establece miles de conexiones con otras neuronas.

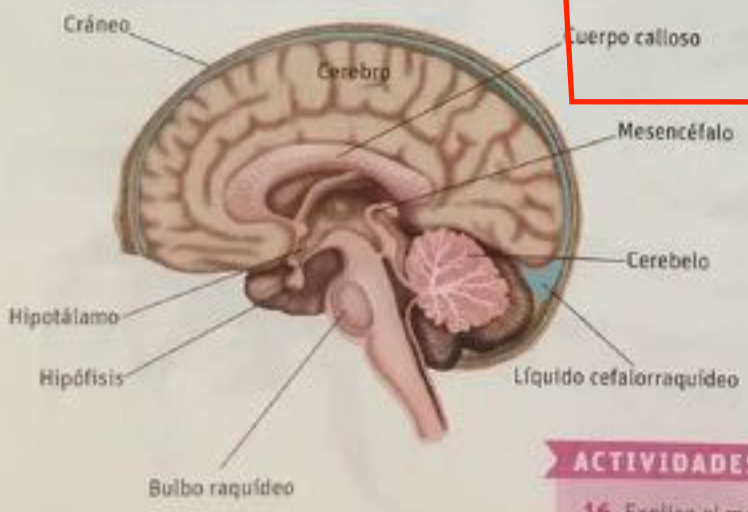


Figura 10.12. Estructura del encéfalo.

ACTIVIDADES

16. Explica el motivo por el cual se pliega la superficie del cerebro en los mamíferos.

4 La estructura celular del sistema nervioso

La unidad funcional del sistema nervioso es la célula especializada llamada **neurona**, que está acompañada de otro tipo de células, denominadas gliales o **glía**.

4.1. La neurona, unidad funcional del sistema nervioso

Las neuronas presentan formas muy variadas, pero su estructura básica consiste en un cuerpo celular o **soma** y una serie de prolongaciones o **neuritas**, en ocasiones muy largas, de las que existen dos tipos: **dendritas** y **axones** (Fig. 10.14).

- **Cuerpo neuronal** o **soma.** Contiene el núcleo y las estructuras citoplasmáticas típicas de cualquier célula, aunque la cantidad de algunas revela las especiales funciones de la neurona: una alta concentración de retículo endoplásmico rugoso, aglomeraciones de ribosomas llamadas **cuerpos de Nissl**, un voluminoso aparato de Golgi y una tupida red de citoesqueleto.
- **Dendritas.** Son prolongaciones citoplasmáticas, a veces muy ramificadas, encargadas de recibir la información.
- **Axón.** Es una prolongación en forma de fibra larga de diámetro constante. Puede estar rodeada por una vaina aislante. Por él salen los impulsos nerviosos de la neurona. Por lo general, los axones constituyen las **fibras nerviosas**.

Figura 10.13. Santiago Ramón y Cajal (1852-1934) formuló la teoría neuronal, al establecer el carácter celular de las neuronas.

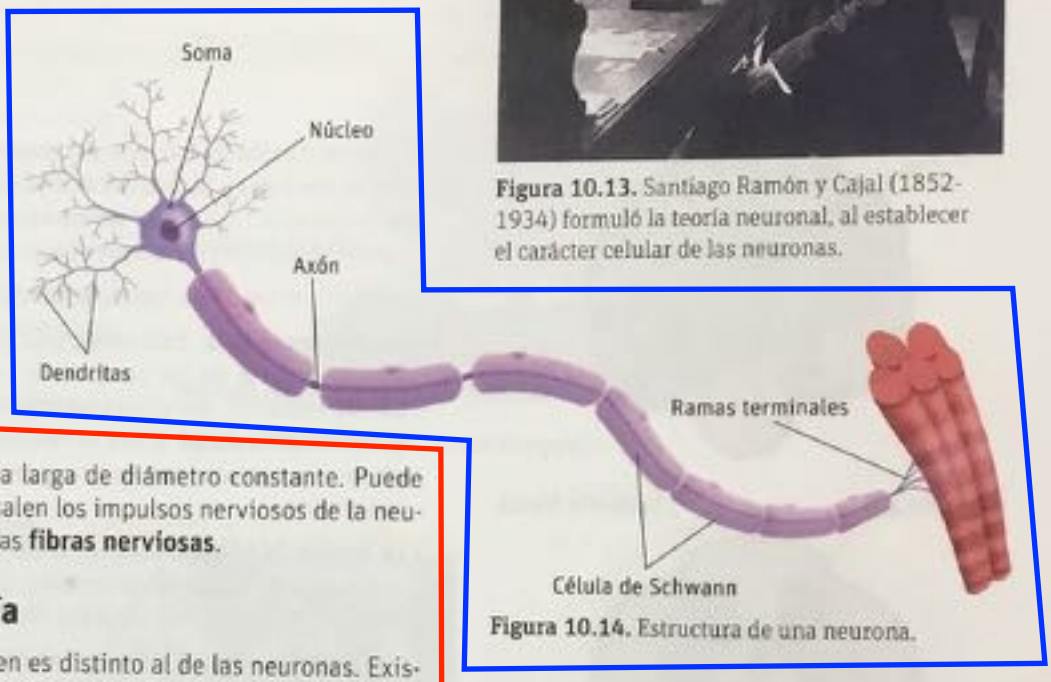


Figura 10.14. Estructura de una neurona.

4.2. Las células gliales o neuroglía

Forman parte del tejido nervioso, pero su origen es distinto al de las neuronas. Existen varios tipos células gliares: **astrocitos**, **oligodendrocitos**, **microglía** (Fig. 10.15), **células ependimarias** y **células de Schwann**. Realizan funciones de soporte, defensa, reparación, nutrición del tejido nervioso y control del medio, así como control de las migraciones de neuronas para formar redes neuronales y regulación de los neurotransmisores (intervienen, así, en la transmisión del impulso).

En el SNC, los oligodendrocitos aíslan los axones de algunas neuronas, formando una vaina discontinua de mielina a su alrededor. En los nervios periféricos, las fibras mielínicas están formadas por células de Schwann enrolladas alrededor del eje neuronal. Los espacios que dejan los bloques de mielina (**nódulos de Ranvier**) aceleran la velocidad y la fiabilidad del impulso nervioso (Fig. 10.16).

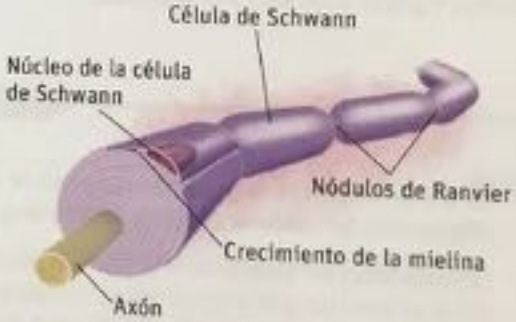


Figura 10.16. En las neuronas del SNP, las vainas de mielina están formadas por las células de Schwann.

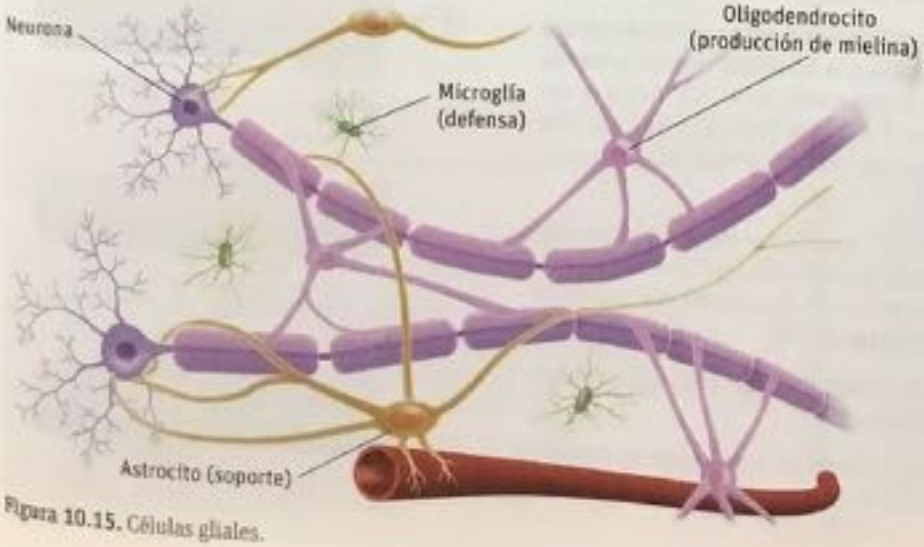


Figura 10.15. Células gliales.

ACTIVIDADES

17. ¿A qué crees que se debe la alta concentración de ribosomas y de retículo endoplásmico rugoso en las neuronas?

5 Organización y funcionamiento de las neuronas

Un axón gigante y dos premios nobel

En 1952, los investigadores Alan Hodgkin y Andrew Huxley detectaron en algunas especies de calamar un axón de enormes dimensiones que conecta la parte posterior del cuerpo del animal con el cuerpo neuronal, situado en su cabeza. Este axón puede alcanzar 1 mm de diámetro, el equivalente al ocupado por cientos de axones en otros animales. Este gran axón les permitió insertar electrodos y medir los cambios eléctricos en su interior. El calamar les ayudó a conocer cómo se transmite la información en las neuronas y a obtener el Premio Nobel en 1963.

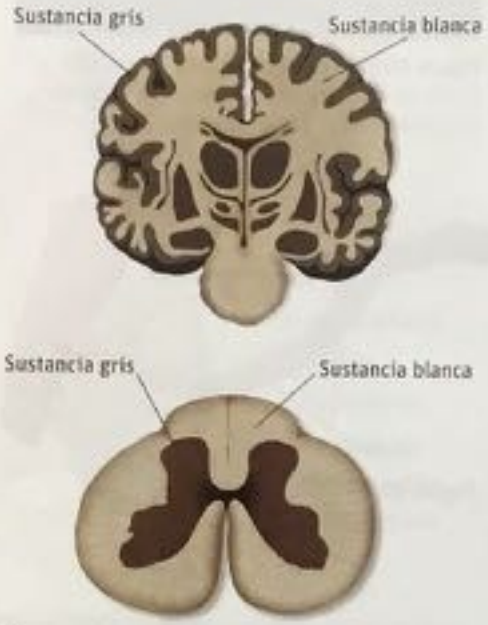


Figura 10.17. Distribución de las sustancias blanca y gris en el cerebro y en la médula.

La concentración de cuerpos neuronales y dendritas determina estructuras masivas como el encéfalo y la médula. Por su parte, los axones se agrupan en haces de fibras que originan el "cableado" de los nervios, los cuales enlazan las zonas centrales con órganos receptores y efectores (músculos y glándulas).

En el SNC, el tejido nervioso se puede subdividir en dos tipos de zonas:

- **La sustancia gris.** Está integrada por cuerpos neuronales y en ella se producen la mayor parte de las conexiones entre neuronas. La velocidad de transmisión de los impulsos nerviosos es aquí más lenta, aunque las distancias a recorrer son pequeñas. Estas áreas se relacionan con la asociación y la coordinación nerviosa y, por tanto, con la toma de decisiones, la consciencia y otras funciones superiores.
- **La sustancia blanca.** Está constituida, sobre todo, por fibras formadas por axones, la mayoría recubiertos de mielina, lo que permite una transmisión rápida de la información entre zonas alejadas del sistema nervioso.

En el encéfalo, la sustancia gris se encuentra en la corteza y en algunos núcleos interiores, y la blanca, en el interior; en la médula, ocurre al revés (Fig. 10.17).

5.1. El impulso nervioso

El impulso nervioso es la transmisión de la señal que llega a las neuronas. Se trata de un proceso electroquímico.

PROPAGACIÓN DEL IMPULSO NERVIOSO

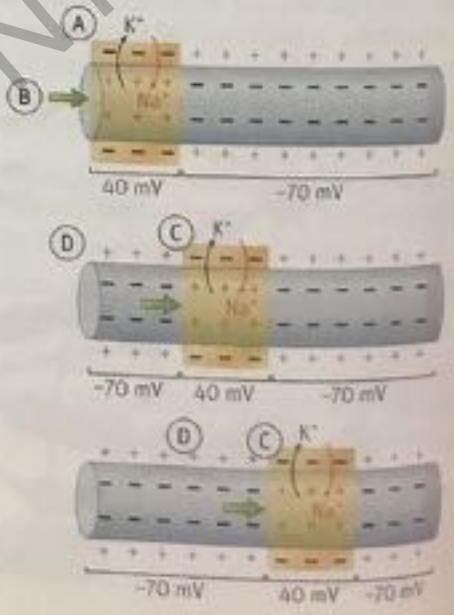
La transmisión del impulso nervioso en la neurona tiene carácter eléctrico debido a diferencias de concentración de iones a ambos lados de la membrana de estas células.

Las neuronas en estado de reposo mantienen una diferencia de concentración iónica entre el exterior y el interior de su citoplasma debido a la actividad de una proteína de membrana, la **bomba de Na^+-K^+**, que impulsa activamente iones Na^+ hacia el exterior y K^+ hacia el interior en una proporción de 3 a 2. Eso hace que se cree una diferencia de carga eléctrica o **potencial de reposo** de −70 mV, con el interior negativo respecto al exterior.

Al llegar un impulso nervioso (**A**), otras proteínas de la membrana abren unos canales que dejan salir K^+ y entrar Na^+, de tal modo que, durante unos milisegundos, la diferencia de potencial a ambos lados de la membrana se invierte y alcanza 40 mV, que es el **potencial de acción**. Este proceso se llama **despolarización** (**B**).

La despolarización afecta a la zona adyacente de la membrana, por lo que el impulso se transmite (**C**) a gran velocidad a lo largo de la neurona.

Cuando el potencial de acción ha recorrido algunos milímetros, tiene lugar la **repolarización** (**D**): los canales se cierran y la bomba de Na^+-K^+ vuelve a restablecer el potencial de reposo, en espera de un nuevo impulso.



APUNTES

5.2. La sinapsis

El paso del impulso nervioso de una neurona a la siguiente tiene un carácter químico y se conoce como **sinapsis nerviosa** (Fig. 10.18). Entre la membrana presináptica del axón de una neurona y la membrana postsináptica de una dendrita de la neurona siguiente, existe un pequeño espacio o **hendidura sináptica**.

Al llegar el impulso nervioso al botón final del axón, desde la membrana presináptica se liberan unas moléculas químicas, llamadas **neurotransmisores**, englobadas en vesículas del citoplasma. Una vez en la hendidura sináptica, los neurotransmisores contactan con la membrana postsináptica de la otra célula e inducen en ella una despolarización o potencial de acción, es decir, un nuevo inicio de impulso nervioso.

La sinapsis también se produce entre neuronas motoras y órganos efectores: músculos o glándulas, que responden contrayéndose o secretando sustancias.

Existen sistemas complejos de regulación de la sinapsis, con activadores e inhibidores.

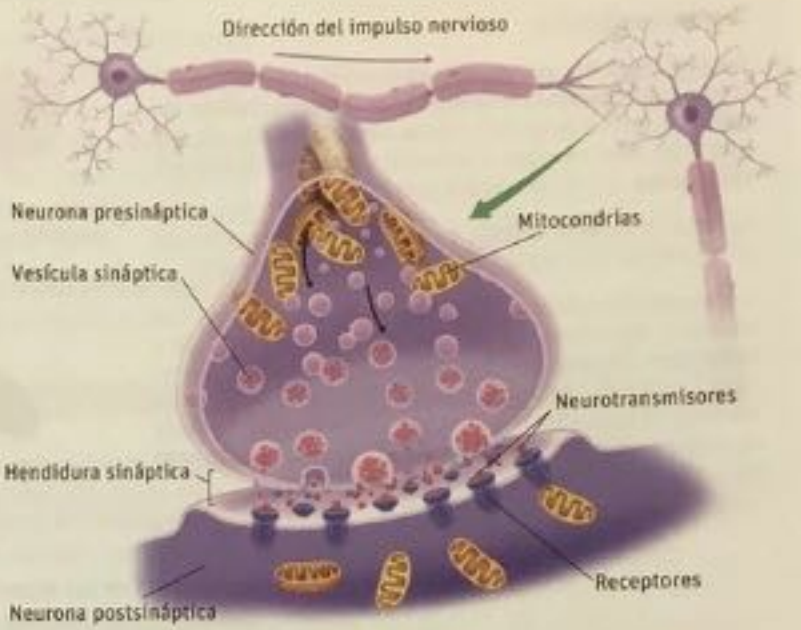


Figura 10.18. Elementos de una sinapsis.

APUNTES

INVESTIGAR

18. Drogas y sinapsis nerviosa

Muchas drogas funcionan como neurotransmisores que activan o inhiben las sinapsis o actúan sobre el impulso nervioso.

a) Investiga y explica desde el punto de vista de la neurotransmisión y de la consciencia cómo actúan los siguientes tipos de drogas sobre el sistema nervioso: los depresores del SNC, como el alcohol y los fármacos ansiolíticos; los estimulantes, como la nicotina o la cocaína, y las sustancias psicotrópicas, como las drogas de síntesis.

b) ¿Por qué el consumo de drogas provoca serios daños en el SNC?

smSaviadigital.com PRACTICA
¿Cómo afectan las drogas a la sinapsis?

En la Web

¿Cómo se produce la sinapsis?

www.e-sm.net/svbg1bach10_04

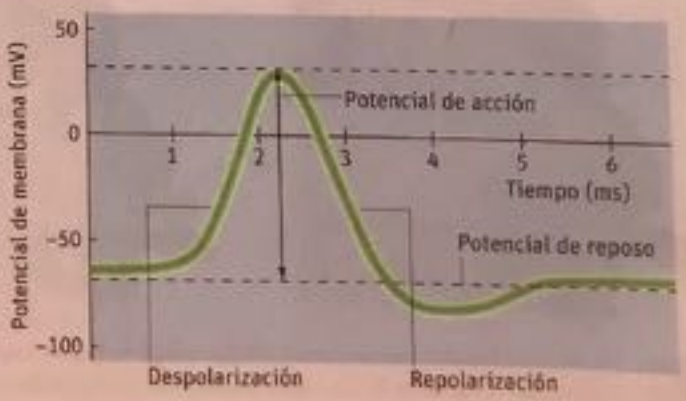
ACTIVIDADES

19. Con la ayuda de la gráfica de la derecha explica cómo ocurre la propagación del impulso nervioso.

20. Define los siguientes conceptos: potencial de reposo, potencial de acción, despolarización y repolarización.

21. El dolor es una sensación que se interpreta en el cerebro a partir de los impulsos que llegan desde receptores de diferentes partes del cuerpo. ¿A través de qué mecanismos calma el dolor un fármaco analgésico? ¿Resuelven estos medicamentos la causa del dolor?

22. Algunas serpientes tropicales pueden acabar con la vida de un animal mediante asfixia, o al morderlo e inyectarle un veneno neurotóxico. ¿De qué manera ocurre esto?



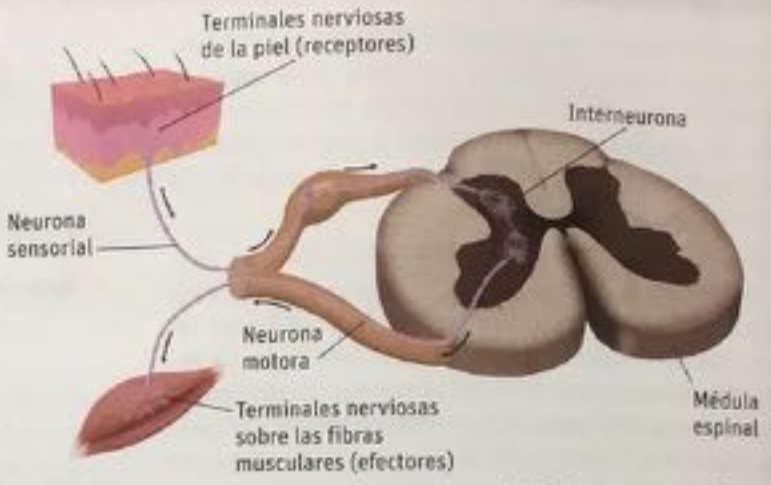
6 Integración y control de la coordinación

Un cortocircuito

Si nos golpearnos suavemente en el tendón situado bajo la rótula, inmediatamente extendemos la pierna (**reflejo rotuliano**). Es una respuesta rápida e **involuntaria**, sin embargo, los músculos que se mueven tienen una inervación **voluntaria**. ¿Cómo se explica esto?

Se trata de un **acto reflejo**, y es debido a un cortocircuito en el camino "vía sensorial → cerebro → vía motora":

Los receptores sensoriales reciben el estímulo (golpe). Las neuronas sensitivas llevan el impulso hasta la médula y establecen sinapsis con neuronas de asociación que envían la orden de contracción al nervio motor que sale de la médula. El impulso también viaja desde la médula hasta el cerebro, donde la sensación se hace consciente, pero para entonces el movimiento se ha realizado.



Así funciona un acto reflejo.

Figura 10.19. Centros motores y sensitivos en el cerebro.

La mayoría de los aspectos fisiológicos y metabólicos del organismo de los vertebrados están regulados por complejos sistemas neurohormonales que mantienen un control voluntario o involuntario, según el tipo de actividad.

- La **regulación voluntaria** o **consciente** supone que la información se procesa en la corteza cerebral, donde reside la capacidad consciente.
- La **regulación involuntaria** o **automática** corre a cargo del sistema hormonal o del sistema nervioso autónomo a través de un mecanismo doble de activación o de inhibición del proceso regulado.

El mecanismo básico de "estímulo → coordinación → respuesta" es similar en ambos casos; solo varía la elaboración de las respuestas, dependiendo del centro coordinador.

6.1. La percepción y los actos o movimientos voluntarios

Los órganos sensoriales captan la información de los estímulos externos y la convierten en impulsos nerviosos que, por vía sensorial, llegan al cerebro. La vía nerviosa concreta que siga un impulso nervioso hasta el cerebro es la clave para su interpretación: si llega por el nervio óptico, se interpretará como una imagen; si lo hace por el nervio auditivo, como un sonido, etc.

Figura 10.20. Homúnculos cerebrales izquierdos: mapa de las cortezas motora (izquierda) y sensorial (derecha). El tamaño de los órganos dibujados es proporcional al área que ocupa la zona responsable de su sensibilidad o de su movimiento.

Las conexiones nerviosas internas del cerebro llevan cada tipo de información hasta zonas concretas de la corteza cerebral, donde se procesa. Muchas de estas zonas ya se han identificado, por lo que disponemos de mapas sensoriales de la corteza cerebral (Fig. 10.19).

Desde esas zonas, a través del complejo entramado de conexiones neuronales del cerebro, la información viaja a otras áreas de asociación donde es interpretada como una **percepción**, es decir, una información consciente sobre el medio.

En otras zonas se decide la respuesta, que será llevada a un área motora de la corteza y por los nervios correspondientes, hasta los órganos efectores que realizarán el acto o movimiento voluntario.

7 El comportamiento animal

El comportamiento animal es estudiado por la **etología**, una disciplina basada en la observación, el registro y la catalogación de las pautas de comportamiento y la indagación de sus relaciones con el ambiente y el conjunto de estímulos o situaciones que afectan al animal. El comportamiento tiene un importante sentido adaptativo: está sometido a la selección natural y ha evolucionado en respuesta a ella. Podemos señalar dos tipos de pautas de conducta: **innata** y **adquirida**.

7.1. La conducta innata o instintiva

Constituye una respuesta automatizada y preprogramada del individuo ante un **estímulo desencadenante**. Tiene una base genética muy marcada y responde al beneficio de actuar de la misma manera ante una situación, sin necesidad de aprender de la experiencia. Un ejemplo es la conducta de los pollos de muchas aves de agacharse sobre el nido cuando detectan la silueta de una rapaz en el cielo.

Figura 10.21. De manera innata, los alimoches utilizan piedras para romper los huevos de los que se alimentan.

Las conductas innatas pueden modificarse en función de la experiencia: si se reducen se habla de **habituación**; si se incrementan, de **sensibilización**.

La reacción al estímulo desencadenante puede variar. Esto se conoce como **propensión** y depende de estímulos externos que la activen o la inhiban y de las circunstancias del individuo. Por ejemplo: el vencedor en una lucha puede mostrar una propensión agresiva hacia otro individuo no implicado en la contienda.

Se conoce como **impronta** o **troquelado** al proceso por el que la conducta innata depende de una experiencia o impresión determinante. Suele originarse en una etapa sensible de la vida. Es el caso de los polluelos de ganso que, al salir del huevo, siguen a la primera figura móvil que ven, a la que identifican como su madre.

7.2. El comportamiento adquirido

Supone la existencia de una capacidad de **aprendizaje** o modificación de la conducta por experiencia, imitación u otros factores ambientales. El aprendizaje existe en unos pocos grupos de invertebrados y en bastantes vertebrados, sobre todo en aves y mamíferos. Las especies sociales que viven en grupos, como los cánidos, cetáceos o primates, suelen mostrar una capacidad de aprendizaje mayor.

Un caso de aprendizaje muy simple es el conocido como **aprendizaje condicionado** o **reflejo condicionado**. Se trata de actos reflejos –por tanto, involuntarios–, que vienen determinados por la repetición de experiencias.

Este aprendizaje se logra mediante buenas experiencias, que generan **apetencias condicionadas**, o malas experiencias, que motivan conductas de **aversión condicionada**. Esto constituye la base del aprendizaje mediante recompensa/castigo, tan utilizado en animales domesticados.

El comportamiento social puede generar aprendizaje por **incitación** o **mímesis**, frecuente en el comportamiento gregario de migraciones, y aprendizaje por **exploración**, **curiosidad** o **juego**. Estos aprendizajes son la base de la cultura humana.

BUSCAR INFORMACIÓN

25. El experimento de Pávlov

La salivación es el acto reflejo que se produce de forma innata como respuesta al estímulo "comida".

El fisiólogo ruso Iván P. Pávlov observó que la simple presencia del alimentador desencadenaba la insalivación en los perros en las perreras. Demostró que esta respuesta se producía ante el sonido de una campana, si durante un tiempo se hacía sonar antes de alimentar a los animales.

Busca ejemplos de reacciones pavlovianas o de aprendizaje condicionado y resúmelos en un esquema.

ACTIVIDADES

26. Identifica conductas instintivas animales ante estímulos desencadenantes.

6.2. Regulación involuntaria: estados de estrés y alerta

La regulación **involuntaria** o **automática** es una parte esencial de la coordinación animal. El sistema neurohormonal de los vertebrados activa o inhibe acciones metabólicas o fisiológicas que no pasan por el control consciente.

El ritmo respiratorio o cardiaco, la digestión o el balance hídrico del cuerpo de un animal responden de forma diferente a situaciones distintas, como son el reposo o la actividad física intensa, un ambiente frío o cálido, etc. De ello se encarga el sistema nervioso autónomo y el endocrino, que actúan coordinadamente.

La complejidad de las funciones reguladas es alta, pero puede entenderse analizando un ejemplo concreto, como es el estado de alarma o alerta en un mamífero.

LA REGULACIÓN DE LOS ESTADOS DE ESTRÉS Y ALERTA

El estado de alarma o alerta es una cuestión vital, ya que de él puede depender la supervivencia del individuo. Podemos comprobar algunas de las reacciones fisiológicas de este estado cuando vemos una película de miedo o si llevamos un tiempo sometidos a una tensión emocional intensa o a estímulos externos impactantes: ruido, luces, etc. Dilatación de las pupilas, aceleración del ritmo cardiaco y de la ventilación pulmonar, sudoración o constante tensión muscular son algunas respuestas de estrés o alerta.

¿Cómo se producen y regulan estos estados?

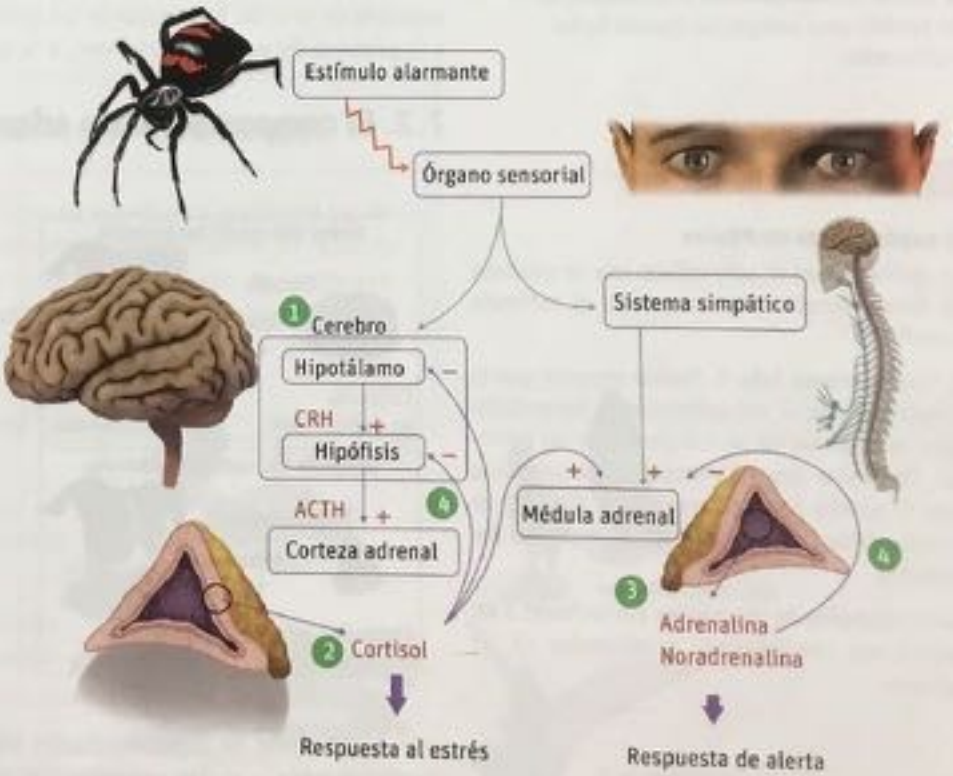
Los órganos sensoriales captan los estímulos alarmantes y transmiten la información al sistema neurohormonal que activa un mecanismo de actuación: "hipotálamo → hipófisis → corteza adrenal":

1.º El hipotálamo recibe directamente la información sensitiva y segrega CRH, una hormona que estimula a la hipófisis para que libere otra hormona a la sangre, la ACTH.

2.º Esta segunda hormona llega a las glándulas suprarrenales y estimula en su corteza la liberación del cortisol u "hormona del estrés", que dispara en el organismo algunas respuestas relacionadas con el estrés.

3.º A la vez, la médula de las glándulas suprarrenales, tanto por la activación debida al cortisol como por vía nerviosa a través del sistema simpático, libera adrenalina y noradrenalina a la sangre, hormonas que activan una serie de respuestas orgánicas que ponen al organismo en alerta.

4.º Las tres hormonas adrenales ejercen una autorregulación sobre su síntesis: si el estímulo no sigue actuando, la inhiben para que el proceso se anule al poco tiempo.



ACTIVIDADES

23. Los actos reflejos tienen un sentido adaptativo. Pon un ejemplo para explicar este hecho y justifica la existencia de estos mecanismos tan sencillos en animales con un sistema nervioso consciente tan complejo como el de los vertebrados.

24. Se sabe que el mantenimiento de estados de estrés sin realizar actividad física genera importantes problemas cardiovasculares. De acuerdo con el mecanismo de regulación del estrés y de la alerta, razona a qué puede ser debido.