

Educación y aprendizaje

Esther López Martín

1

ESQUEMA/CONTENIDOS

I. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

II. CONTENIDOS

1. Estructura y funciones básicas del cerebro

- 1.1. Las neuronas y otras células del sistema nervioso
 - 1.1.1. Tipos de neuronas
 - 1.1.2. Comunicación neuronal
 - 1.1.3. Sinápsis químicas
- 1.2. Principales estructuras del sistema nervioso central, organización anatómica y funcional
 - 1.2.1. El tronco del encéfalo
 - 1.2.2. El cerebelo
 - 1.2.3. El diencefalo
 - 1.2.4. El telencefalo
 - 1.2.4.1. Los núcleos basales
 - 1.2.4.2. El sistema límbico
 - 1.2.4.3. La corteza cerebral

2. El cerebro que aprende

- 2.1. Principales mecanismos cerebrales subyacentes al aprendizaje
 - 2.1.1. Plasticidad cerebral
 - 2.1.2. Periodos sensibles
 - 2.1.3. Mielinización
 - 2.1.4. Sinaptogénesis y poda sináptica
 - 2.1.5. Neurogénesis

III. ACTIVIDADES

I. PRESENTACIÓN Y OBJETIVOS DEL CAPÍTULO

Diseñar una intervención educativa sin comprender cómo aprende el cerebro de manera natural y eficiente es como diseñar un guante sin tener conocimiento alguno sobre la anatomía de la mano.

Leslie Hart (1983)

El cerebro es el órgano del aprendizaje y, por tanto, el órgano de nuestra profesión como educadores. Es fundamental que cualquier profesional de la educación conozca cómo aprende el cerebro humano para, en base a ello, saber cómo debe enseñar. En este primer tema se presenta de manera sencilla, pero enfocada, la arquitectura básica del cerebro y su funcionamiento. A su vez, se introducen los mecanismos cerebrales que subyacen al aprendizaje y a la memoria, los cuales deben considerarse a la hora de diseñar intervenciones y programas educativos eficaces que permitan promover y optimizar el aprendizaje de las personas a lo largo de toda la vida.

Tras finalizar este primer tema, el estudiante será capaz de:

- Identificar la estructura básica de las neuronas.
- Analizar las principales diferencias entre las neuronas y otras células del sistema nervioso.
- Describir los elementos y los principios subyacentes al proceso de comunicación interneuronal.
- Reconocer la anatomía y la fisiología de las principales estructuras cerebrales.
- Identificar los mecanismos cerebrales que subyacen al aprendizaje (neuroplasticidad, sinaptogénesis, poda, etc.).
- Explicar cómo las diferentes estructuras cerebrales operan en la producción del aprendizaje.

II. CONTENIDOS

1. ESTRUCTURA Y FUNCIONES BÁSICAS DEL CEREBRO

El sistema nervioso engloba el conjunto de órganos y tejidos nerviosos que permiten al individuo interactuar con el entorno. Se encarga de procesar e integrar los estímulos recibidos del exterior y, si resulta necesario, de iniciar una respuesta. El sistema nervioso se divide en sistema nervioso central (SNC) y sistema nervioso periférico (SNP). El SNC está compuesto por el encéfalo y la médula espinal, mientras que el SNP incluye los diferentes nervios que conectan al SNC con el resto del organismo. Aunque el término cerebro suele utilizarse para hacer referencia a la totalidad del encéfalo, y con este sentido se utilizará en este libro, conviene advertir que, junto con del cerebro o telencéfalo, también forman parte del encéfalo otras estructuras como son el diencefalo, el tronco del encéfalo o el cerebelo.

El estudio del cerebro puede llevarse a cabo desde un enfoque microscópico o macroscópico según se consideren, respectivamente, las células que lo componen o las grandes regiones corticales, núcleos y sistemas que pueden analizarse sin aplicar técnicas de aumento. Estas dos perspectivas de análisis no son independientes, ya que la comunicación del sistema nervioso se produce a diferentes niveles de complejidad creciente (Haines, 2013), es decir, las neuronas próximas se unen entre sí formando circuitos locales que, a su vez, se conectan para formar sistemas que, nuevamente, pueden interconectarse para formar sistemas de sistemas.

1.1. Las neuronas y otras células del sistema nervioso

Desde una perspectiva microscópica, el cerebro está compuesto fundamentalmente por dos tipos de células: las neuronas y las células gliales. Se estima que el cerebro tiene aproximadamente 100.000 millones de neuronas y 10 veces más de células gliales.

Las células gliales (del griego γλία, glía «pegamento») representan la mayoría de las células en el sistema nervioso. Entre sus funciones destacan las siguientes (Cardinali, 2007; Haines, 2013): actuar de soporte para las neuronas y sus prolongaciones, mielinizar los axones, eliminar residuos (resultantes del metabolismo neuronal o restos celulares), facilitar la regeneración neuronal, captar iones en el espacio extracelular, hacer llegar nutrientes a las neuronas y guiar el proceso de migración neuronal que tiene lugar durante el desarrollo.

Las neuroglías o células de glía

En el SNC se distinguen los siguientes tipos de células de glía:

- *Oligodendrocitos*: forman las vainas de mielina alrededor de los axones.
- *Astrocitos*: son las células gliales más numerosas. Proporcionan soporte a las neuronas y ayudan a formar la barrera hematoencefálica, impidiendo el paso de sustancias del torrente sanguíneo hacia los tejidos del SNC.
- *Microglía*: realizan tareas fagocitarias, eliminando los residuos tras el daño o la muerte neuronal. A su vez, constituyen las células inmunitarias del SNC, mediando en la respuesta inmunitaria ante lesiones e infecciones.
- *Células ependimarias*: recubren los ventrículos del encéfalo y el conducto central de la médula espinal. Facilitan la producción y el flujo del líquido cefalorraquídeo.

Por su parte, en el SNP se encuentran:

- *Células de Schwann*: sintetizan la mielina que cubre los axones del SNP
- *Células satélite*: rodean y sostienen los somas neuronales de las neuronas de los ganglios del SNP

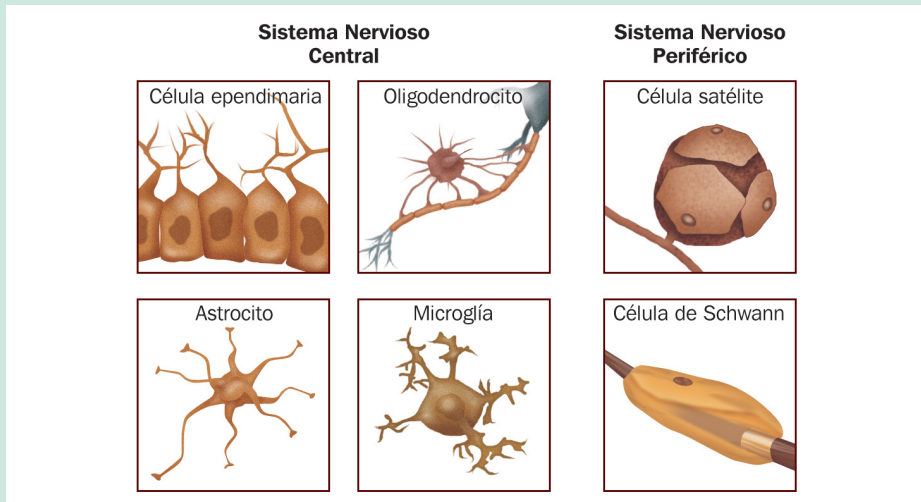


Figura 1.1. Tipos de célula de glía.

Fuente: adaptado de Bruce Blaus (2014).

Las neuronas, por su parte, constituyen la unidad estructural y funcional básica del sistema nervioso y, consecuentemente, del cerebro. Desde el punto de vista estructural, en la mayor parte de las neuronas es posible distinguir tres partes diferenciadas: el soma, las dendritas y el axón.

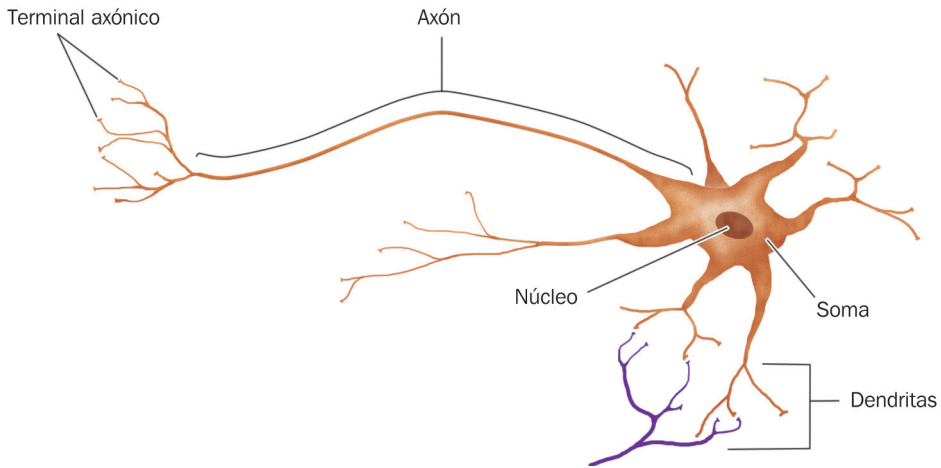


Figura 1.2. Partes de la neurona.
 Fuente: adaptado de Bruce Blaus (2014).

El *cuerpo celular* o *soma* constituye el centro metabólico de la neurona y su tamaño varía desde las pocas micras¹ de diámetro en el caso de las neuronas pequeñas hasta, aproximadamente, las 100 micras en el caso de las células nerviosas de mayor tamaño. El soma contiene el núcleo que está delimitado por la membrana nuclear y en su interior se encuentra el material genético de la célula en forma de cromatina. Junto con el núcleo, alberga diversos orgánulos citoplasmáticos implicados en la producción de energía y en la síntesis de las moléculas que utilizará la neurona para mantener su estructura y realizar sus funciones.

Cuerpo celular de la neurona

En el interior del cuerpo celular de la neurona se pueden identificar los siguientes orgánulos citoplasmáticos:

- Ribosomas: participan en la síntesis de proteínas.
- Retículo endoplasmático liso y retículo endoplasmático rugoso: responsables, respectivamente, de la formación de lípidos y de proteínas.
- Aparato de Golgi: interviene en el empaquetamiento y almacenamiento de glucoproteínas y glucolípidos, así como en su transporte y liberación.
- Lisosomas: participan en los procesos de digestión o degradación de sustancias procedentes tanto del interior (endógenas) como del exterior (exógenas) de la célula.

¹ Una micra equivale a la millonésima parte de un metro.

- Mitocondrias: implicadas en el metabolismo aeróbico de las neuronas.
- Citoesqueleto: formado por microtúbulos, neurofilamentos y microfilamentos que determinan la estructura de la neurona. El citoesqueleto juega un papel muy importante, no sólo a nivel estructural, sino también en el movimiento celular y el desplazamiento de orgánulos y sustancias a través de la célula.

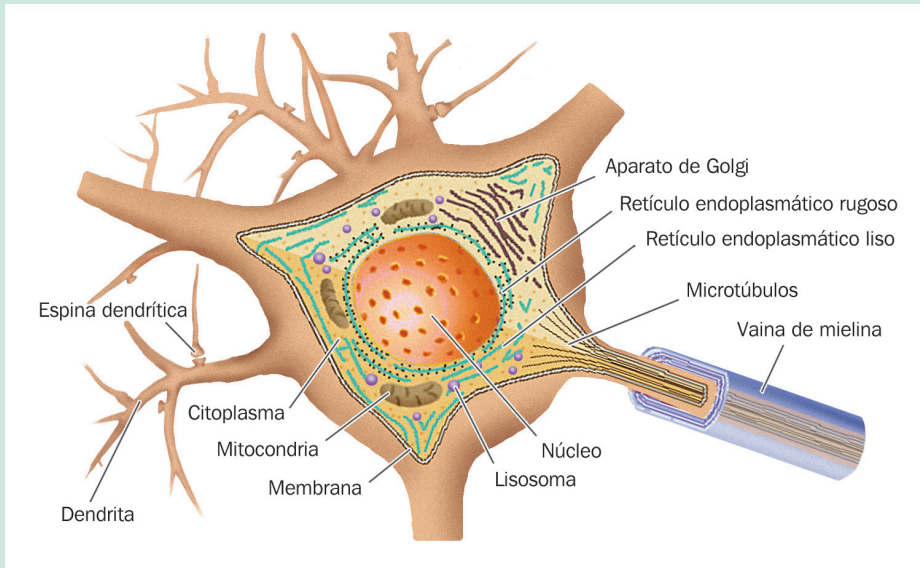


Figura 1.3. Cuerpo celular de la neurona.

Las *dendritas* son prolongaciones del cuerpo de la neurona que se ramifican en forma de árbol. Las ramas dendríticas, a su vez, están cubiertas de extensiones citoplasmáticas llamadas espinas dendríticas, que constituyen los principales puntos de contacto sináptico, a través de los cuáles las neuronas reciben información de otras células nerviosas. Las ramificaciones dendríticas de una neurona son un indicador de las conexiones que establece y, por tanto, de la cantidad y variedad de información que recibe y procesa.

El *axón* es una extensión citoplasmática que emerge del soma y que permite transmitir impulsos nerviosos a otras neuronas. Cada neurona consta de un solo axón, cuya longitud puede variar desde las pocas micras hasta más de un metro —por ejemplo, el axón de una neurona que transporta información al dedo de un pie—. La elevación en la que el soma se estrecha hacia el axón, se denomina como axónico. El extremo final puede llegar a dividirse en numerosas ramificaciones axónicas. En estas ramificaciones se sitúan los botones terminales, que contienen vesículas que almacenan neurotransmisores, y corresponden con puntos de contacto sináptico con otras neuronas.

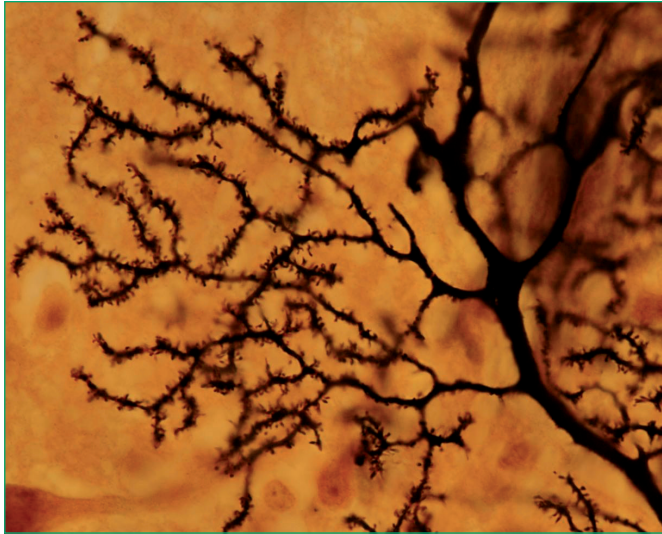


Figura 1.4. Espinas dendríticas.

Los axones suelen estar aislados por una sustancia electroquímicamente aislante llamada mielina. La mielinización de los axones incrementa la velocidad de transmisión de los impulsos nerviosos, de manera que la velocidad en la conducción de estos impulsos puede ser hasta 100 veces más rápida en las fibras mielinizadas que en los axones no mielinizados (OCDE, 2007). Los oligodendrocitos forman las vainas de mielina alrededor de los axones en el SNC y las células de Schwann son las encargadas de proporcionar las vainas de mielina a los axones en el SNP. Las vainas de mielina se disponen a lo largo del axón, interrumpidas a intervalos regulares por los nodos de Ranvier (espacios sin mielinizar). El proceso de mielinización se produce en oleadas que tienen lugar, en su mayor parte, desde el nacimiento hasta la adolescencia.

Junto con las estructuras descritas anteriormente, al igual que las demás células, las neuronas están delimitadas por una membrana. La membrana neuronal permite separar el líquido intracelular (citósol), así como los orgánulos citoplasmáticos y las sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el citósol, del líquido extracelular.

La membrana neuronal

La membrana neuronal está formada por una bicapa lipídica que no es completamente impermeable. Ello posibilita el tránsito de sustancias entre el interior y el exterior neuronal, a través de canales específicos formados por proteínas que atraviesan las membranas (canales iónicos).

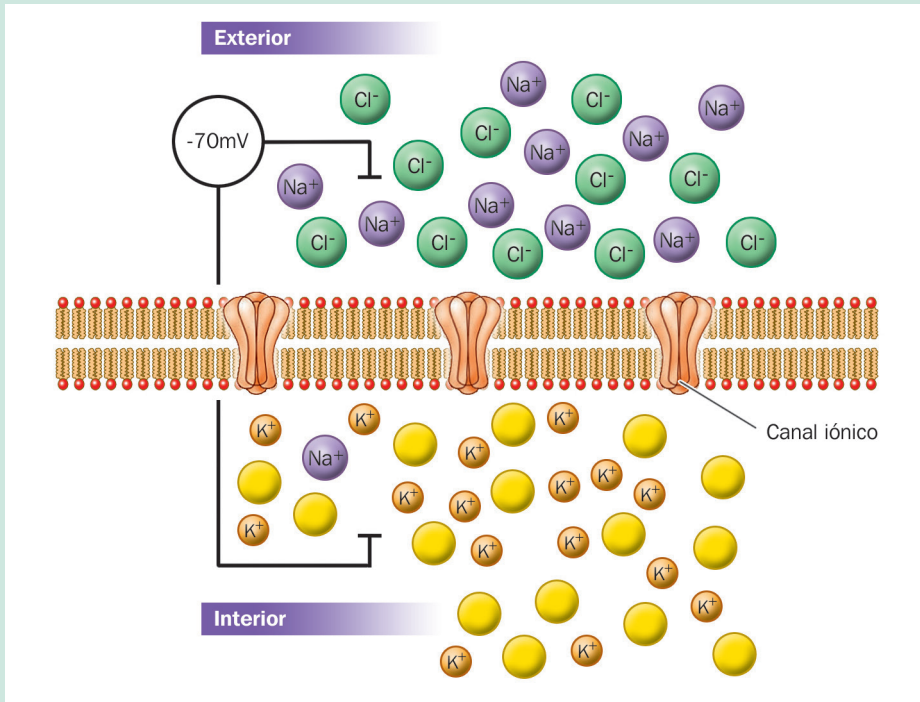


Figura 1.5. Distribución de moléculas a ambos lados de la membrana.

En el líquido extracelular e intracelular están disueltas diferentes moléculas (proteínas, iones [cationes² y aniones³] y azúcares), que se distribuyen de manera irregular a ambos lados de la membrana. En el interior celular se observa una mayor concentración de potasio (K^+) y de otros aniones, mientras que en el líquido extracelular las concentraciones de sodio (Na^+) y cloro (Cl^-) son más altas. Cabe señalar que la membrana de la neurona posee una permeabilidad selectiva, es decir, es más permeable al cloro y al potasio y menos permeable al sodio y a los aniones proteicos.

² Iones cargados positivamente.

³ Iones cargados negativamente.

Esta distribución irregular de los iones lleva a que, en estado de reposo (cuando no recibe señales de otras neuronas), la membrana tenga un potencial eléctrico (voltaje) negativo que se sitúa en torno a los -70 milivoltios (mV). Esta diferencia de potencial eléctrico entre el interior y el exterior de la neurona se denomina potencial de reposo.

Dos fuerzas ayudan a mantener este potencial de reposo, la fuerza de difusión por la que las moléculas se desplazan de las zonas de mayor concentración a las de menor concentración —al igual que ocurre cuando echamos una cucharada de sal en un vaso de agua— y la fuerza electrostática por la que las partículas con distinta carga eléctrica se atraen y aquellas con igual carga eléctrica se repelen. La fuerza de difusión mueve a las moléculas de potasio (K^+) hacia el exterior de la neurona, pero la presión electrostática hace que se mantengan en el interior celular. Del mismo modo, las moléculas de cloro (Cl^-) podrían desplazarse hacia el interior de la neurona por la fuerza de difusión, pero la presión electrostática hace que permanezcan en el exterior. Finalmente, tanto la fuerza de difusión como la presión electrostática empujarían al sodio (Na^+) hacia el interior celular, pero la membrana es menos permeable a esos iones. Para poder acceder, tienen que hacer uso de los canales iónicos que en situación de reposo permanecen cerrados.

1.1.1. Tipos de neuronas

Las neuronas pueden clasificarse en función de diversos criterios como son la función que desempeñan, el número y el tipo de prolongaciones, la dirección del impulso nervioso, o el principal neurotransmisor que producen. Así, desde el punto de vista de la *función que desempeñan*, podemos diferenciar entre:

- a) neuronas aferentes: transmite información desde los órganos sensoriales al SNC.
- b) neuronas eferentes: transmiten los impulsos nerviosos desde el SNC hasta los músculos y glándulas del cuerpo.
- c) interneuronas: se comunican con otras neuronas dentro del SNC. La mayor parte de las neuronas pertenecen a este tipo, ya que de cada 100 millones de fibras solo una conecta en sentido aferente o eferente (Anaya, 2014).

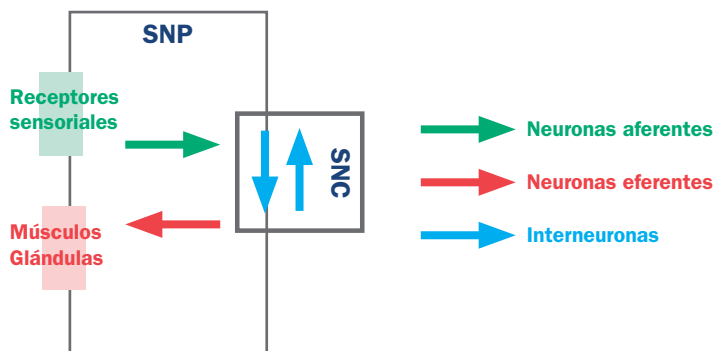


Figura 1.6. Tipos de neuronas según la función que desempeñan.

Atendiendo al *número y tipo de sus prolongaciones*, se pueden clasificar en:

- neurona multipolar: es aquella que, junto con el axón, posee varias ramificaciones dendríticas. Este es el tipo de neuronas que se observa más frecuentemente en el SNC.
- neurona bipolar: presenta dos prolongaciones, un axón y una dendrita, que emergen en extremos opuestos del soma.
- neurona unipolar: emerge del soma una única prolongación (axón).
- neurona pseudounipolar: al igual que las neuronas unipolares, del soma emerge una única prolongación que, inmediatamente, se bifurca en una parte que

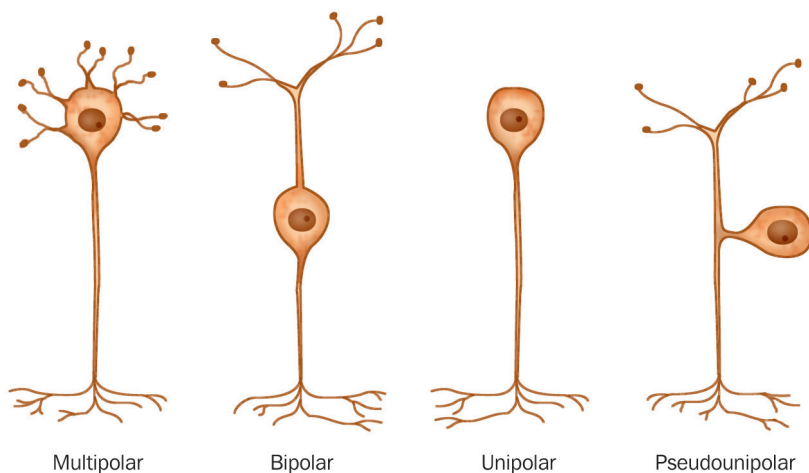


Figura 1.7. Tipos de neuronas según el número y tipo de sus prolongaciones.

realiza la función de las dendritas (recepción de información) y otra la del axón (conducción de la información).

Teniendo en cuenta la *dirección del impulso nervioso*, podemos diferenciar entre la neurona que transmite el impulso nervioso (neurona presináptica) y la que lo recibe (neurona postsináptica).

A su vez, las neuronas también se pueden clasificar atendiendo *al principal neurotransmisor que liberan*, por ejemplo, neuronas noradrenérgicas (noradrenalina), neuronas adrenérgicas (adrenalina), neuronas dopaminérgicas (dopamina), neuronas serotoninérgicas (serotonina), neuronas colinérgicas (acetilcolina), neuronas glutamatérgicas (glutamato), neuronas GABAérgicas (GABA), etc.

1.1.2. Comunicación neuronal

La comunicación neuronal constituye la base de toda actividad cerebral y, por tanto, del aprendizaje. Cada neurona puede llegar a establecer hasta 10.000 sinapsis con otras neuronas, lo cual, multiplicado por el número de neuronas del cerebro, ofrece una idea de la complejidad del sistema nervioso (Megías et al., 2023).

Las regiones en las que dos neuronas se comunican entre sí o con otras células se denominan sinapsis. Las sinapsis pueden ser de dos tipos: sinapsis eléctricas y sinapsis químicas. En las sinapsis eléctricas, las membranas de las neuronas presináptica y postsináptica están muy próximas, lo cual permite que el impulso nervioso pase directamente a través de uniones comunicantes. Las sinapsis químicas son las más frecuentes y, como veremos a continuación, se precisa que la neurona presináptica libere una sustancia neurotransmisora para estimular a la neurona postsináptica.

1.1.3. Sinapsis químicas

En las sinapsis químicas las membranas de las neuronas presináptica y postsináptica están separadas por la hendidura sináptica y la comunicación, generalmente, se establece en una dirección que va desde el axón de la neurona presináptica a la dendrita o el soma de la neurona postsináptica. Los neurotransmisores almacenados en las vesículas sinápticas de la neurona presináptica son liberados en la hendidura sináptica para, a continuación, unirse a receptores específicos de la neurona postsináptica. En función del efecto que producen los neurotransmisores liberados sobre la membrana postsináptica, podemos diferenciar entre sinapsis inhibitoras o excitadoras.

- Las sinapsis inhibitoras están producidas por la acción de neurotransmisores inhibidores (GABA, glicina, etc.). La acción de estos neurotransmisores provoca la entrada de cloro (Cl^-) hacia el interior celular y/o la salida de potasio (K^+) hacia

el exterior, haciendo que el potencial de la membrana en reposo se vuelva más negativo (hiperpolarización).

- Las sinapsis excitadoras están mediadas por la acción de neurotransmisores excitadores (glutamato, acetilcolina, etc.), que incrementan la permeabilidad de la membrana a los iones cargados positivamente (Na^+ , K^+). El mayor gradiente electroquímico hace que la entrada de sodio (Na^+) sea mayor que la salida de potasio (K^+), con lo que el potencial de la membrana se vuelve más positivo (despolarización).

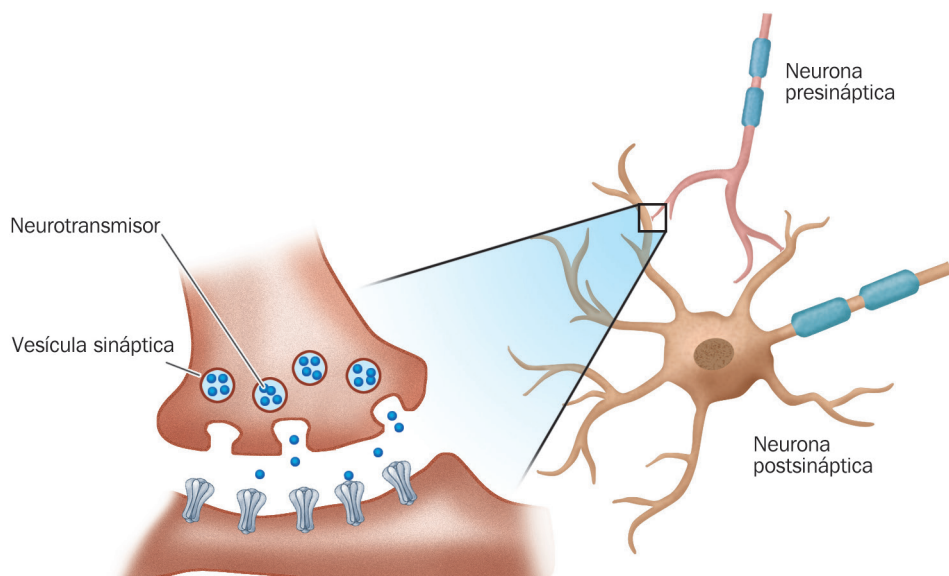


Figura 1.8. Sinapsis química.

Teniendo en cuenta que varias neuronas presinápticas pueden actuar simultáneamente sobre una misma neurona postsináptica a través de sinapsis inhibitorias y excitadoras, cuando la acción conjunta de todos los neurotransmisores inhibitorias y excitadoras liberados causan la excitación suficiente para que el potencial de la membrana postsináptica se despolarice hasta, aproximadamente, los -55 mV (umbral de disparo), se inicia el potencial de acción.