

El sistema nervioso

Bases de las neurociencias



tech

CONTENIDO

1. Objetivos

2. Definición del sistema nervioso

Sistema nervioso central (SNC)
Sistema de protección del sistema nervioso central
Sistema nervioso periférico (SNP)

3. Componentes del sistema nervioso

Las neuronas
La neuroglia o glía

4. Clasificación del tejido nervioso

Tipos de neuronas
Tipos de Glías

5. Comunicación eléctrica de la neurona

Potencial eléctrico de la membrana
Potencial de reposo
Potencial de acción o impulso nervioso

6. Comunicación química de la neurona

7. Resumen

8. Bibliografía

OBJETIVOS

- Conocer la definición y la estructura del sistema nervioso (SN).
- Explorar los diferentes tipos de células que componen el sistema nervioso (SN).
- Comprender como se comunica el sistema nervioso: comunicación eléctrica y química.

DEFINICIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso (SN) es el principal sistema de comunicaciones del cuerpo, una red extensa y compleja de tejido nervioso, que se distribuye por todo el organismo con estructuras especializadas, entre las que se encuentran el encéfalo, la médula espinal o los nervios. El objetivo del SN consiste detectar cambios internos y externos, evaluarlos y responder a través de músculos o glándulas. Entre sus funciones destacan las siguientes (Redolar, 2012):

- Captación y transmisión de información externa e interna.
- Participación en las funciones motoras finas y gruesas.
- Regulación de las distintas funciones de órganos y sistemas.
- Coordinación de la interrelación entre sistemas del organismo con el medio externo.
- Integración de la información sensorial proveniente de diferentes canales.
- Participación en las funciones cognitivas superiores (memoria, atención, aprendizaje, etc.).

El sistema nervioso se divide en **sistema nervioso central** (SNC) y **sistema nervioso periférico** (SNP).

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)

El sistema nervioso central (SNC) incluye el encéfalo y la médula espinal. Por una parte, el encéfalo se encuentra protegido dentro del cráneo y, por otra parte, la médula espinal se ubica en el interior del conducto vertebral, por lo que está protegida por la columna vertebral.

El tejido del SNC se divide en dos componentes: sustancia gris y sustancia blanca. La diferencia entre la sustancia gris y la sustancia blanca es importante para entender el SNC a nivel tanto anatómico como funcional. La importancia gira en torno a que, de este modo, se puede comprender tanto las agrupaciones funcionales que forman las neuronas (sustancia gris) como las agrupaciones que forman los axones y que permiten la comunicación entre las diferentes agrupaciones funcionales (sustancia blanca).

Sustancia gris

La sustancia gris está compuesta, de forma mayoritaria, por los somas neuronales y las dendritas. Como destacan Del Abril, *et al* (2016, p. 213), “en la sustancia gris se localizan los cuerpos neurales, las dendritas, los axones cortos de las interneuronas y los terminales de los axones largos que establecen sinapsis con estos elementos celulares”. Las neuronas de la sustancia gris forman diferentes estructuras que se comunican entre ellas y participan en una función específica. Dentro de la sustancia gris pueden distinguirse dos tipos de estructuras: las estructuras laminadas y los núcleos. Las **estructuras laminadas** forman la superficie del cerebelo y de los hemisferios cerebrales, por lo que reciben el nombre de corteza cerebral y presentan una gran organización celular.

Por otro lado, se encuentran los núcleos. Se trata de estructuras que en primer lugar parecen no estar tan organizadas como las estructuras laminadas, pero al tener una forma y una apariencia concreta sí permite perfilar ciertos límites.

Sustancia blanca

La sustancia blanca corresponde a zonas donde predominan los axones de las neuronas de proyección. Se le denomina sustancia blanca debido al color blanco de la mielina que rodea los axones para aumentar la velocidad de transmisión de las señales nerviosas. Los axones conectan diferentes estructuras formadas por la sustancia gris, ya sean dentro de un mismo hemisferio o desde un hemisferio hasta la zona lumbar de la médula espinal. Toda la conjunción de axones que conectan unas estructuras con otras recibe el nombre de **vías nerviosas**, dentro de las cuales existen diferentes tipos con relación a su tamaño, terminación u origen. Los diferentes tipos de vías nerviosas son las siguientes (Del Abril, *et al*, 2016, p. 214):

- **Tracto:** se trata de una agrupación de axones cuyo origen es una sola estructura y se dirigen al mismo destino.
- **Haz o fascículo:** son agrupaciones de axones cuyo origen pueden comprender diferentes estructuras y finales en diferentes destinos.
- **Comisura:** hace referencia a la agrupación de diferentes axones que comunican ambos hemisferios cerebrales o de la médula espinal.
- **Fibras:** dentro del SNC las fibras pueden tener diferente significado, por ejemplo, nombrar vías que agrupan menos axones o referirse en general a vías que tienen una característica común.

Divisiones del sistema nervioso central

El SNC se divide en encéfalo y en la médula espinal. En primer lugar, el encéfalo se subdivide a su vez en tres grandes componentes: el encéfalo anterior, el tronco del encéfalo y el cerebelo.

Encéfalo anterior

El encéfalo anterior incluye dos divisiones rostrales: el diencefalo y los hemisferios cerebrales.

Diencefalo

Con relación al encéfalo anterior, su posición es central y ocupa la zona entre los dos hemisferios cerebrales y el tronco del encéfalo. Su organización es bajo los ventrículos laterales y alrededor del tercer ventrículo. Los dos componentes principales son el tálamo y el hipotálamo. Aunque también se pueden encontrar estructuras de menor tamaño como el epitálamo y el subtálamo.

El **tálamo** es un centro importante, ya que pasan por él un gran número de señales del SNC antes de llegar a la corteza cerebral. Sin embargo, la corteza le devuelve estas señales, por lo que el tálamo es un centro fundamental para el funcionamiento cortical. El tipo de información que procesa el tálamo es la siguiente (Redolar, 2016, p. 378):

- Información sensorial
- Información del control motor
- Información emocional
- Información cognitiva

El **hipotálamo** lleva a cabo funciones clave para la supervivencia y el bienestar del organismo. Como señala Del Abril, *et al* (2016, p. 223), entre sus funciones destacan las siguientes:

- Funcionar como un centro efector neuroendocrino
- Coordinar y controlar el sistema endocrino, así como el sistema nervioso autónomo y el visceral
- Proporcionar un medio estable al organismo
- Participación en el control de la alimentación
- Intervención en el equilibrio de líquidos
- Participación en los ciclos sueño-vigilia
- Termorregulación del organismo

En cuanto a su papel en la supervivencia del organismo, el hipotálamo interviene en las respuestas ante el estrés, en momentos de huida, en situaciones hostiles, en el enfrentamiento ante posibles agresores, en la conducta sexual, etc. Por último, el **epitálamo** interviene en procesamientos del sistema límbico, mientras que el **subtálamo** participa en funciones motoras.

Hemisferios cerebrales

Los hemisferios cerebrales (figura 1) son simétricos y recubren de forma dorsal y lateral el diencefalo y una gran parte del tronco encefálico y del cerebelo. La superficie de los hemisferios recibe el nombre de corteza cerebral. Ambos hemisferios se encuentran unidos por grandes tractos de sustancia blanca denominados comisuras, siendo la más grande y la principal, el cuerpo calloso.

Figura 1.

Cuerpo calloso. El cuerpo calloso es el principal tracto de sustancia blanca que une ambos hemisferios.



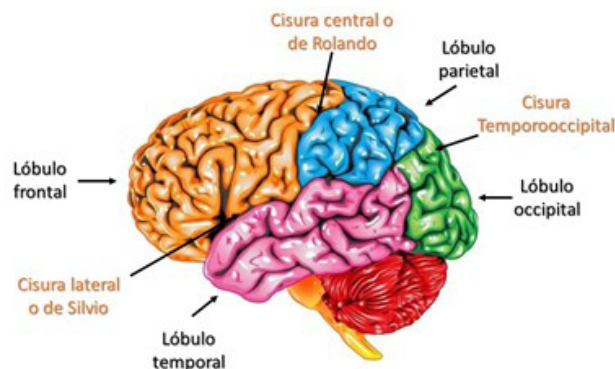
Nota: Tomado de: https://es.123rf.com/imagenes-de-archivo/callosum_corpus.html?sti=nl1k7fi78a58xvq&oriSearch=callosum

La forma del cerebro se debe a una cuestión de funcionalidad y tamaño, ya que si no estuviera plegado no cabría en el interior del cráneo. Por ello se forman **pliegues** que, a su vez, forman **circunvoluciones**, también conocidas como giros, y entre las hendiduras formadas por las circunvoluciones se encuentran los **surcos o cisuras**.

Como se observa en la figura anterior, las cisuras más pronunciadas ayudan a perfilar y delimitar ciertas áreas de los hemisferios. La cisura más destacada es la cisura longitudinal, que separa ambos hemisferios. Es importante señalar que esta cisura hace que los lóbulos cerebrales se dividan en dos. En este caso, se encuentra el lóbulo frontal, parietal, temporal y occipital. El **lóbulo frontal** se encuentra anterior de la cisura central o de Rolando y posterior a esta cisura se encuentra el **lóbulo parietal**. Posterior a la cisura parietooccipital se encuentra el **lóbulo occipital**. Si se observan los hemisferios lateralmente se podrá encontrar la cisura lateral o de Silvio y establece el límite del **lóbulo temporal** (figura 2).

Figura 2.

Lóbulos y principales cisuras de la corteza. Todas las cisuras son bilaterales, es decir, se encuentran en ambos hemisferios.



Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

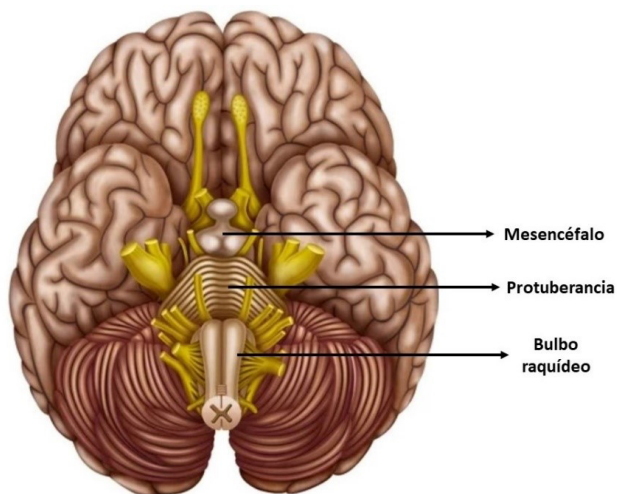
Es importante añadir que existen dos lóbulos subcorticales, esto es, que no son visibles en la superficie de la corteza: el lóbulo de la ínsula y el lóbulo límbico. El **lóbulo de la ínsula** se encuentra en la profundidad de la cisura lateral. Por su parte, el **lóbulo límbico** se ubica en la cara medial de los hemisferios y forma un anillo de corteza que bordea el cuerpo calloso desde el lóbulo frontal al temporal. Por último, en la cara ventral de los hemisferios cerebrales se localizan los bulbos olfatorios que alcanzan la corteza olfatoria del lóbulo temporal a través del tracto olfatorio.

Tronco del encéfalo

El **tronco del encéfalo** (figura 3), no por ser pequeño, deja de tener importancia. A nivel visual solo podría verse su parte ventral, ya que el resto está recubierto por los hemisferios y el cerebelo. Se extiende desde el diencefalo hasta la médula espinal y de sus lados surgen los nervios craneales. El tronco del encéfalo presenta tres divisiones: bulbo raquídeo, protuberancia y mesencéfalo (Redolar, 2016, p. 352).

Figura 3.

Tronco del encéfalo. En la imagen se pueden observar el mesencéfalo, la protuberancia y el bulbo raquídeo desde la vista ventral del tronco del encéfalo.



Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

El **mesencéfalo** ocupa desde el diencefalo hasta el surco superior llamado puente o protuberancia y el bulbo raquídeo se extiende desde el surco bulbopontino hasta la médula espinal. El mesencéfalo es la división más pequeña del tronco del encéfalo, se divide en dos partes: el tectum y el tegmentum. Con relación al tectum, en los mamíferos se encuentran dos pares de prominencias: los tubérculos cuadrigéminos. Al par posterior se le conoce como tubérculos cuadrigéminos inferiores y su función es auditiva. El par anterior recibe el nombre de tubérculos cuadrigéminos superiores y su función es visual.

Por su parte, la localización del tegmentum es ventral al tectum y está compuesto por tres estructuras: la sustancia gris periacueductual, la sustancia negra y el núcleo rojo (Pinel, 2007, p.71).

La **protuberancia** goza de características que facilitan su reconocimiento, sobre todo, en su zona ventral, ya que se observa un ligero abultamiento transversal. Este abultamiento transversal es debido a que dirige muchos de sus axones lateralmente al cerebro. Por otro lado, en su parte dorsal se ubica el cuarto ventrículo. Lateralmente, se encuentra flanqueado por los pedúnculos cerebelosos, que son tres grandes tractos compuestos de sustancia blanca y que unen el cerebelo y el tronco del encéfalo.

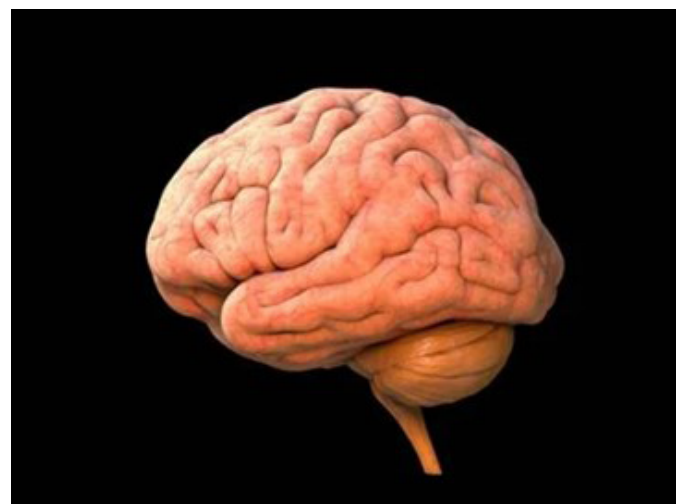
Por último, el **bulbo raquídeo**, en su cara ventral, presenta cuatro grandes prominencias. Dos de estas cuatro prominencias, concretamente las dos centrales, están formadas por sustancia blanca y reciben el nombre de pirámides, mientras que las laterales están formadas por sustancia gris y se denominan olivas. Cuando cada pirámide cruza al otro lado de la línea media se conoce como decusación piramidal. Esta decusación piramidal establece el límite caudal del bulbo raquídeo y del tronco del encéfalo con la médula espinal.

Cerebelo

El cerebelo, en la (figura 4), representa el total del 10 % del tamaño del encéfalo y también presenta dos hemisferios unidos en su parte media. Su localización es en la parte posterior del encéfalo y está parcialmente recubierto por los hemisferios cerebrales y envuelve la cara dorsal del tronco encefálico. El cerebelo se une al tronco del encéfalo y está conectado al encéfalo y a la médula espinal a través de los pedúnculos cerebelosos, que se dividen en tres: superior, medio e inferior.

Figura 4.

Localización y tamaño del cerebro. El cerebelo ocupa el 10 % de la totalidad del encéfalo.



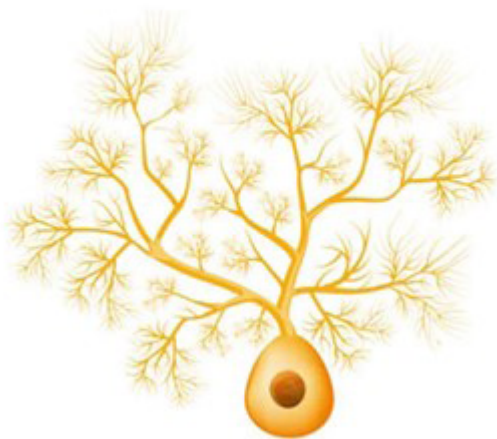
Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

La superficie del cerebro posee muchos pliegues cuyo nombre es folia, entre las cuales existen ciertas cisuras que dividen al cerebro en tres lóbulos: anterior y posterior en la superficie dorsal y el lóbulo floculonodular en la parte ventral.

La corteza cerebelosa está constituida por diferentes capas. La más externa se denomina capa molecular y en ella se encuentran dos tipos de interneuronas: las células estrelladas y las células en cesto. La segunda capa es la capa de células de Purkinje (figura 5). Y la más profunda es la capa granular, en la que también se encuentran dos tipos de interneuronas: las células granulares y las células de Golgi. Los axones de las células granulares reciben el nombre de fibras paralelas porque suben hasta la capa más superficial, hasta la capa molecular. Las dendritas de las células de Purkinje establecen sinapsis con las fibras paralelas a través de las cuales el cerebelo recibe muchas señales.

Figura 5.

Célula de Purkinje.



Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

SISTEMA DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

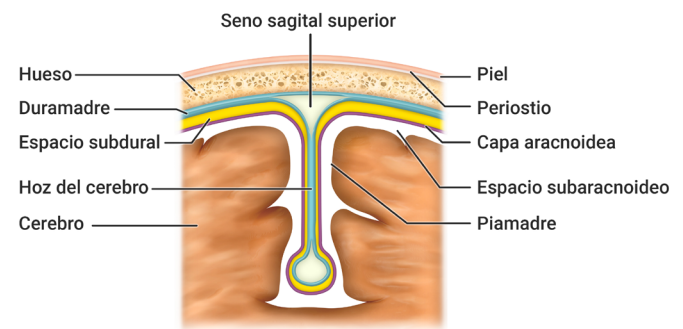
Meninges

Un aspecto muy importante del SNC es cómo se protege tanto de enfermedades como de traumatismos craneoencefálicos. Si el SNC no estuviera protegido, el encéfalo se golpearía una y otra vez con el cráneo con cada uno de los movimientos, por lo que necesita un sistema de sujeción y protección, así como una capa protectora que lo aisle de ciertas patologías.

El encéfalo se encuentra protegido por dos mecanismos. Uno de ellos es un sistema de membranas que se denominan meninges (figura 6), que están ancladas al cráneo y proporciona protección y sujeción al encéfalo. Y el otro sistema es el líquido cefalorraquídeo. Se trata de un líquido rodea el encéfalo y amortigua las fuerzas ejercidas sobre el encéfalo, como puede ser en caso de un frenazo en un coche. Las meninges se componen de tres capas: duramadre, aracnoides y piamadre.

Figura 6.

Capas meníngicas. La duramadre también recibe el nombre de paquimeninge, mientras el conjunto de la aracnoides y de la piamadre se denominan leptomeninges.



Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

Duramadre

La duramadre es la capa meníngica externa y es una membrana de tejido colágeno compuesta, en su gran mayoría, por fibroblastos y fibrillas de colágeno. Se adhiere de forma férrea a la superficie del cráneo, excepto en la médula espinal, donde se encuentra separada de las vértebras por el **espacio epidural**. La duramadre puede dividirse en las siguientes tres capas:

- **Duramadre perióstica:** es la capa más externa y está unida al cráneo.
- **Duramadre meníngica:** es la capa más interna y se separa de la perióstica para formar tabiques.
- Capa de células limitantes.

En la duramadre hay que destacar que, si bien no se despegue en ningún momento del cráneo, existen los siguientes dos espacios que en situaciones patológicas podrían abrirse:

- **Espacio epidural:** es el espacio entre el cráneo y la duramadre.
- **Espacio subdural:** se trata del espacio que se crearía entre la duramadre y la aracnoides.

Aracnoides

La aracnoides es una capa celular unida a las células limitantes de la duramadre y separada por el espacio subaracnoideo de la piamadre. Por el espacio subaracnoideo fluye el líquido cefalorraquídeo y se encuentran un gran número de vasos, así como las raíces de nervios raquídeos y nervios craneales. La aracnoides presenta una escasa amplitud en la zona lateral y dorsal de los hemisferios, sin embargo, en la cara basal y alrededor del tronco encefálico presenta una amplitud mayor, formando lo que se denomina cisternas subaracnoideas.

Entre la aracnoides y la piamadre se encuentran las trabéculas aracnoideas, compuesta en su mayoría por fibroblastos. De este modo, la capa aracnoidea se puede dividir en dos:

- La capa celular que limita con la capa celular de la duramadre.
- La capa inferior formada por las trabéculas aracnoideas.

Piamadre

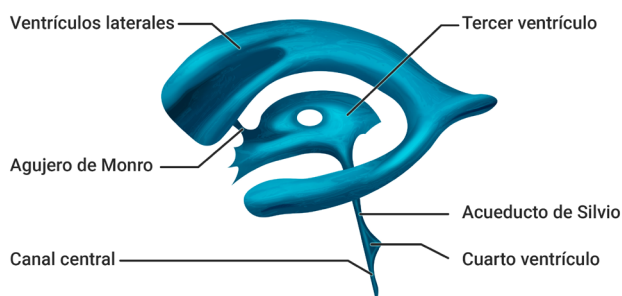
La piamadre es la capa meníngea más interna y se sitúa cubriendo la superficie del tejido nervioso. Se adhiere de forma fija a todas las cisuras y circunvoluciones.

Sistema ventricular

Como se observa en la (figura 7), el sistema ventricular es el mecanismo por el que circula el líquido cefalorraquídeo (LCR) para que el encéfalo quede protegido. Dentro del espacio subaracnoideo se encuentra el LCR, que se comunica a través de un grupo de cavidades internas del SNC llamado sistema ventricular. Se trata de un sistema formado por cuatro ventrículos (ventrículos laterales, tercer ventrículo y cuarto ventrículo) y el canal medular.

Figura 7.

Ventrículos cerebrales. El LCR se origina en los plexos coroideos de los ventrículos laterales.



Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

Ventrículos laterales

En cada hemisferio existe un ventrículo lateral de gran tamaño y en forma de C. A nivel anatómico y se pueden dividir en lo siguiente:

- Cuerpo anterior o frontal
- Cuerpo o parte central
- Cuerpo posterior u occipital
- Cuerpo inferior o temporal
- Trígono o atrio

Se comunica con el tercer ventrículo a través del agujero de Monro.

Tercer ventrículo

Se sitúa en la parte media del diencéfalo y es un conducto estrecho por el que continúa el flujo de LCR. Se comunica con el cuarto ventrículo a través del acueducto de Silvio o acueducto central.

Cuarto ventrículo

El cuarto ventrículo se ubica entre el cerebelo, la protuberancia y el bulbo raquídeo. Posee una serie de conductos que comunican las siguientes cavidades:

- **Agujero de Monro:** comunica los ventrículos laterales con el tercer ventrículo.
- **Acueducto de Silvio o acueducto cerebral:** comunica el tercer ventrículo con el cuarto.
- **Agujeros de Magendie y de Lushka:** comunican el cuarto ventrículo con el espacio subaracnoideo.

Líquido cefalorraquídeo

El líquido cefalorraquídeo (LCR) llena el espacio subaracnoideo y el sistema ventricular. Su movimiento es constante y circula por los ventrículos, el canal medular y el espacio subaracnoideo. Debido a que el LCR circula por los ventrículos y alrededor del encéfalo, permite una función de flotabilidad del encéfalo, cuyos beneficios son que mantiene la forma del encéfalo y que protege al sistema nervioso central de lesiones contra el hueso.

El LCR entra en el sistema por los plexos coroideos y sale por los senos venosos. El epéndimo es una membrana que reviste la superficie interna del sistema ventricular. Los plexos coroideos se forman cuando los vasos sanguíneos rodeados por la piamadre penetran en el tejido nervioso y llegan hasta el epéndimo. En estos puntos, la piamadre empuja al epéndimo hacia la parte interior del ventrículo y se forma una estructura conocida como "coliflor", formada por el epéndimo, la piamadre y los capilares. En los plexos coroideos se fabrica y se segrega el LCR.

El LCF es segregado en su mayor parte por los ventrículos laterales. De ahí pasa al tercer ventrículo a través del agujero de Monro y del tercero pasa al cuarto por el acueducto de Silvio. Finalmente, a través de los agujeros de Magendie y Lushka se dirige al espacio subaracnoideo y de ahí a la sangre.

SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO (SNP)

El sistema nervioso periférico (SNP) está compuesto por ganglios y nervios que se ubican en el exterior del cráneo y del canal vertebral y que tienen como objetivo comunicar el SNC con el resto del organismo. Esta comunicación puede ser en dos direcciones. Por una parte, se transporta información sensorial al SNC (del exterior al interior) y por otra, se transportan órdenes desde el SNC a los órganos efectores como las glándulas o los músculos (del interior al exterior).

En el SNP se pueden clasificar los nervios en los siguientes dos categorías con relación a su funcionalidad:

- **Fibras eferentes:** las fibras eferentes transmiten información desde el SNC al SNP (por ejemplo, un movimiento voluntario).
- **Fibras aferentes:** las fibras aferentes son aquellas a través de las cuales llega información al SNC (por ejemplo, la sensación de dolor por un pinchazo).

Sistema nervioso somático y sistema nervioso autónomo

Dentro del SNP se pueden distinguir dos subdivisiones: el sistema nervioso somático y el sistema nervioso autónomo. Tanto el sistema nervioso somático como el sistema nervioso autónomo cuentan con un componente motor (eferente) y un componente sensorial (aferente).

Sistema nervioso somático

Gracias a este sistema nervioso se es capaz de interaccionar con el entorno. Las fibras aferentes son las encargadas de transportar la información al SNC de los cambios que detectan los receptores localizados tanto en la piel y en los órganos sensoriales (información exteroceptiva), así como la información sobre el estado muscular y la posición de las extremidades (información propioceptiva). Los ganglios del sistema nervioso somático están formados por neuronas que recogen información sensorial y la mandan al sistema nervioso central. Por su parte, las fibras eferentes van desde el sistema nervioso central hacia la musculatura esquelética para controlar el movimiento (información propioceptiva). Estas fibras eferentes están compuestas por los axones de las neuronas motoras cuyo cuerpo celular se encuentra en el sistema nervioso central.

Sistema nervioso autónomo

Este sistema nervioso interviene en la regulación del ambiente interno del organismo al modular la respuesta de los vasos sanguíneos, de las glándulas y de los órganos internos con relación a las condiciones en las que el organismo está sometido. Las fibras aferentes del sistema nervioso autónomo llevan información al sistema nervioso central sobre el estado de los órganos internos (información interoceptiva), mientras que las fibras eferentes controlan la musculatura cardíaca, la musculatura lisa y el control de distintas glándulas con el objetivo de regular diferentes funciones fisiológicas como, por ejemplo, el sistema digestivo.

Dentro del sistema nervioso autónomo existen dos divisiones: el sistema nervioso simpático y el sistema nervioso parasimpático. A continuación, se describen:

- **Sistema nervioso simpático:** la función del sistema nervioso simpático consiste en desencadenar un aumento en la actividad de órganos y vísceras como los pulmones, el corazón, el hígado y los músculos destinados a afrontar situaciones de estrés que conllevan de un esfuerzo físico y desgaste energético. Por ejemplo, cuando se camina de noche y se escucha un ruido en la calle, el corazón comienza a bombear más sangre, se agarrotan los músculos, se abren los ojos y se respira con fuerza. El organismo se está preparando para una situación de posible esfuerzo que conlleva huida o ataque. Sin embargo, después se descubre que es un gato y se calma la situación. Ahí entra en juego el sistema nervioso parasimpático.
- **Sistema nervioso parasimpático:** este sistema nervioso induce efectos sobre las actividades de los órganos y de las vísceras opuestos a los del sistema simpático, esto es, el objetivo es se encarga de devolver a los órganos y a las vísceras a una situación de reposo. Cuando se ve que el peligro era un gato, se desactiva el simpático y el parasimpático devuelve al estado previo de calma.

Nervios craneales y nervios espinales

También se pueden clasificar los nervios en los siguientes dos tipos dependiendo de su ubicación:

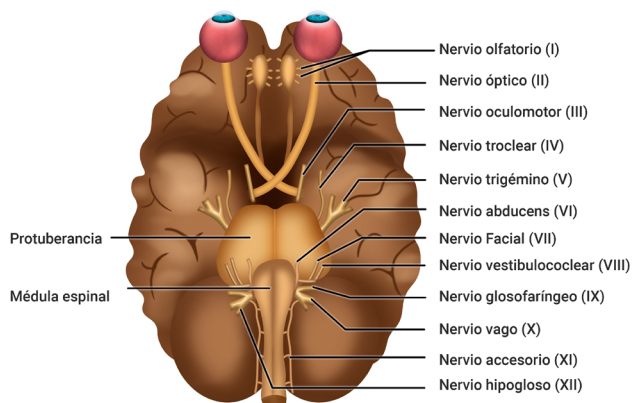
- **Nervios espinales:** son los nervios cuyo origen es la médula espinal.
- **Nervios craneales:** los nervios craneales nacen en el encéfalo e intervienen de forma principal en las áreas del encéfalo.

Nervios craneales

Los nervios del SNP tienen su comienzo en el encéfalo y son conocidos como nervios craneales o pares craneales (ya que están duplicados). En total son 12 pares de nervios. Una gran mayoría de ellos surgen del tronco encefálico (figura 8) y desde ahí se dirigen a diferentes destinos situados en diferentes estructuras de la cabeza y del cuello, donde proporcionan innervación motora y sensorial. A continuación, se expone una tabla con cada uno de ellos y en la que se puede apreciar de qué núcleo surge cada uno de ellos, cuál es su función y que estructura periférica inerva (Redolar, 2018) (tabla 1).

Figura 8.

Origen de los pares craneales. Se observa que todos excepto el olfatorio (I) y el óptico (II) surgen del tronco del encéfalo.



Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

Nervios espinales

Los nervios espinales (figura 9) tienen su origen en la médula espinal y llegan a todo el cuerpo. Cada nervio espinal se une a la médula a través de dos raíces: raíz ventral o anterior y raíz dorsal o posterior. Existen 31 pares de nervios espinales y salen al exterior de la médula a través de los agujeros intervertebrales que se encuentran entre dos vértebras juntas. En cada segmento vertebral de la médula existe un par de nervios, uno a cada lado de la médula. Los nombres que reciben están relacionados con el tipo de vértebra del que salen, de este modo se encuentra lo siguiente:

- 8 pares de nervios cervicales.
- 12 pares de nervios torácicos.
- 10 pares de nervios lumbares/sacros.
- 1 par de pequeños nervios coccígeos.

Figura 9.

Nervios espinales.



Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

COMPONENTES DEL SISTEMA NERVIOSO

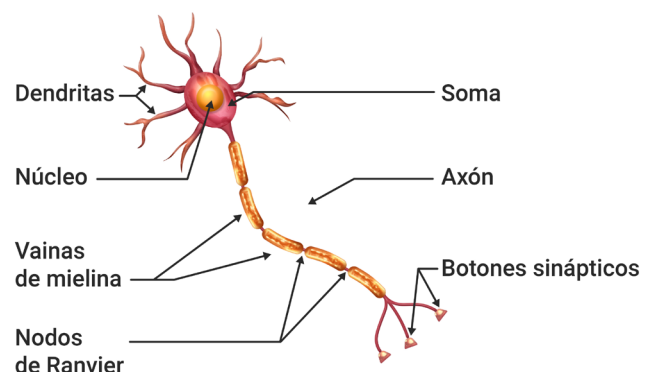
El sistema nervioso está formado por **neuronas** y **células gliales**. Sin embargo, tanto las neuronas como las células gliales poseen una funcionalidad diferente.

LAS NEURONAS

La neurona es una célula nerviosa y se trata del componente fundamental del SN. Gracias a la neurona, el SN posee la capacidad de comunicarse. Esta comunicación se produce por un intercambio de información a través de impulsos nerviosos. La neurona es clave, ya que es la unidad a través de la que se procesa y se transmite información al SN. A pesar de que existen diferentes tipos de neuronas, los componentes principales de todas ellas son tres: el soma, el axón y las dendritas (figura 10).

Figura 10.

Partes de la Neurona. Entre los nodos o nódulos de Ranvier, el axón se expone al medio extracelular.



Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

Tabla 1.

Los nervios del SNP. Continúa en la siguiente página.

Nervio	Núcleo de origen	Función	Estructura periférica que inerva
I. Olfatorio	Bulbo olfativo	Sensorial	El nervio olfatorio (I) lleva la información de los receptores de la nariz hasta el uncus del lóbulo temporal.
II. Óptico	Núcleo geniculado lateral	Sensorial	El nervio óptico (II) inerva las células ganglionares de la retina y lleva la información hasta el tálamo y desde ahí a la corteza visual del lóbulo occipital.
III. Oculomotor	Núcleo oculomotor	Motor	El nervio oculomotor (III) innerva con los músculos oculares externos y con los músculos constrictores del iris y la musculatura ciliar.
IV. Troclear	Núcleo troclear	Motor	El nervio troclear (IV) inerva con el músculo oblicuo mayor del ojo.
V. Trigémino	En su función sensorial parte del núcleo espinal, del núcleo sensorial principal y del núcleo mesencefálico En su función motora parte del núcleo motor.	Sensorial y motor	El nervio trigémino (V), en su función sensorial, inerva la piel y la mucosa de la cabeza y de los dientes: • Rama oftálmica: frente, cavidad nasal superior y el ojo. • Rama maxilar: cavidad nasal inferior, el rostro, los dientes superiores y la mucosa de la porción superior de la boca. • Rama mandibular: las superficies de las mandíbulas, dientes inferiores, mucosa de la parte inferior de la boca y gusto en la parte anterior de la lengua. En su función motora, inerva con músculos de las mandíbulas, tensor del tímpano y del paladar y digástrico.
VI. Motor ocular externo (<i>abducens</i>)	Núcleo motor ocular externo	Motor	El nervio motor ocular externo (VI) inerva con el músculo recto externo del ojo.
VII. Facial	En su función sensorial parte del núcleo solitario y del núcleo espinal. En su función motora parte del núcleo salival superior y del núcleo facial.	Sensorial y motor	El nervio facial (VII), en su función sensorial, inerva con dos tercios anteriores de la lengua y el paladar y con la piel del oído externo. En su función motora, inerva con glándulas lacrimales, glándulas de mucosa nasal, glándulas salivales, músculos de la cara y del cuerpo cabelludo.
VIII. Vestíbulo-coclear o auditivo	Núcleo coclear y núcleo vestibular.	Sensorial	El nervio vestibulo-coclear (VIII) inerva con células ciliadas del órgano de Corti y con células ciliadas del aparato vestibular.
IX. Glossofaríngeo	En su función sensorial parte del núcleo espinal y del núcleo solitario caudal. En su función motora parte del núcleo solitario rostral, del núcleo salivar inferior y del núcleo ambiguo rostral.	Sensorial y motor	El nervio glossofaríngeo (IX), en su función sensorial, inerva con la piel del oído externo, con las membranas mucosas de la región faríngea y oído medio y con el tercio posterior de la lengua. En su función motora, inerva con la glándula parótida y el músculo estriado de la faringe.

Nota: Tomado de: "Redolar 2012; Del Abril, et al, 2016; Redolar, 2018".

Tabla 1.

Los nervios del SNP. Continúa en la siguiente página.

X. Vago	En su función sensorial parte del núcleo espinal y del núcleo solitario caudal. En su función motora parte del núcleo solitario rostral, núcleo motor dorsal y de la región medial del núcleo ambiguo.	Sensorial y motor	El nervio vago (X), en su función sensorial, inerva con la laringe, la tráquea y la faringe. En su función motora, inerva con las vísceras del tórax y el abdomen.
XI. Espinal accesorio	Núcleo ambiguo	Motor	El nervio espinal accesorio (XI), inerva con los músculos de vísceras torácicas y abdominales y con los músculos cervicales.
XII. Hipogloso	Núcleo hipogloso	Motor	El nervio hipogloso (XII), inerva con los músculos de la garganta y la lengua.

Nota: Tomado de: "Redolar 2012; Del Abril, et al, 2016; Redolar, 2018".

Soma

El soma es el centro metabólico en el que se producen las moléculas y se llevan a cabo actividades fundamentales con el objetivo de mantener la vida y las funciones de la célula nerviosa. En el soma se puede encontrar el núcleo de la célula rodeado de la membrana nuclear y dentro de este se encuentran el nucléolo y los cromosomas. El nucléolo es una estructura que cobra relevancia debido a que es la encargada de fabricar los ribosomas. Los cromosomas, por su parte, son cadenas de ácido desoxirribonucleico (ADN) que contienen la información genética del organismo.

Axón

El axón es la larga prolongación que sale del soma. Su longitud puede ir desde 1 mm hasta 1 m y su grosor oscila entre 0,2 y 25 mm. La función principal del axón es la de conducir información codificada en forma de potenciales de acción, esto es, lleva la información desde el soma hasta el botón terminal donde establece sinapsis con la siguiente neurona. En el extremo del axón se produce una ramificación y en esta ramificación se encuentran los botones terminales cuyo objetivo es expulsar los neurotransmisores que serán necesarios para la comunicación neuronal (por ejemplo, serotonina).

Dendritas

La palabra dendrita proviene de dendron, que en griego significa árbol, ya que las dendritas neuronales se dividen como las ramas de los árboles. Como afirma Redólar (2018), "las dendritas son ramificaciones que salen del cuerpo celular o soma, cuya principal función es la de recibir información de otras neuronas". Las dendritas contienen unas pequeñas protuberancias denominadas espinas dendríticas y su función es aumentar el tamaño de la superficie receptora de la neurona.

Orgánulos y partículas citoplasmáticas

La neurona posee una **membrana citoplasmática** que la separa del exterior. Esta membrana permite a la neurona retener en su interior el citoplasma, líquidos, ciertas sustancias disueltas y varios orgánulos responsables de diferentes funciones.

La distribución de los orgánulos citoplasmáticos se reparte de diferentes formas dentro de la neurona, por lo que puede variar entre el soma, el axón y las dendritas. En toda la neurona se puede encontrar mitocondrias, retículos endoplasmáticos lisos y lisosomas. En el soma y las dendritas, también se encontrarán retículos endoplasmáticos rugosos y ribosomas. Y solo en el soma, se encontrarán la sustancia de Nissl y el aparato de Golgi. Además de estos orgánulos, las neuronas tienen un esqueleto, conocido como citoesqueleto, cuyas funciones son las dos siguientes:

- **Transporte:** el citoesqueleto participa en el transporte de vesículas y sustancias a lo largo del axón y de las dendritas.
- **Estructura:** proporciona forma y rigidez a la neurona.

También es importante destacar que el citoesqueleto está compuesto por tres tipos de filamentos:

- **Microfilamentos**, de 3 a 7 nm de diámetro
- **Neurofilamentos**, de 10 nm de diámetro
- **Microtúbulos**, de 25 nm de diámetro

Axones mielínicos y amielínicos

En referencia al axón de la neurona, se encontrarán dos tipos: los axones o fibras mielínicos y los axones o fibras no mielínicos o amielínicos.

Axones mielínicos

Los axones mielínicos están recubiertos por una sustancia grasa de color blanco llamada **mielina** y formada en su mayoría por lípidos. En concreto, en el SNC, la mielina está formada por oligodendrocitos y en el SNP está formada por células de Schwann. El envoltorio de mielina que recubre el axón se llama **vaina de mielina** y esta no es continua, es decir, no es un tubo que recubre todo el axón, sino que tiene varias interrupciones. Estas interrupciones se conocen como **nodos o nódulos de Ranvier** y son las únicas zonas del axón mielínico que al no estar aislado está expuesto al medio extracelular. Cada zona del axón rodeado de mielina se conoce como **internódulo**.

Axones amielínicos

Los axones amielínicos no están completamente descubiertos, sino que se encuentran parcialmente cubiertos de mielina.

LA NEUROGLIA O GLÍA

En el SN no solo se encuentran neuronas, sino también células gliales. Existe una creencia general de que el sistema nervioso solo está compuesto de neuronas, pero también se encuentran otro tipo de células que reciben el nombre de **glía**. Como describen Calderón y Rivera (2012), "la neuroglia es el nombre genérico para diferentes tipos de células que desempeñan una variedad de labores clave para el funcionamiento neurológico, como cicatrización, revestimiento, intercambio metabólico, sostén estructural y defensa contra agresiones". El conjunto de células gliales recibe el nombre de **neuroglia**.

La principal diferencia entre las células gliales y las neuronas es que **las células gliales no son capaces de producir un potencial de acción** en su membrana plasmática. Sin embargo, se han encontrado células gliales que participan en la recepción de neurotransmisores (Redolar, 2012) y que también son capaces de liberar glutamato y ATP (Verkhatsky y Butt, 2007). En el SNC se pueden encontrar tres tipos de células gliales: astrocitos, microglías y oligodendrocitos. En el SNP se encuentran, en su mayoría, células de Schwann.

CLASIFICACIÓN DEL TEJIDO NERVIOSO

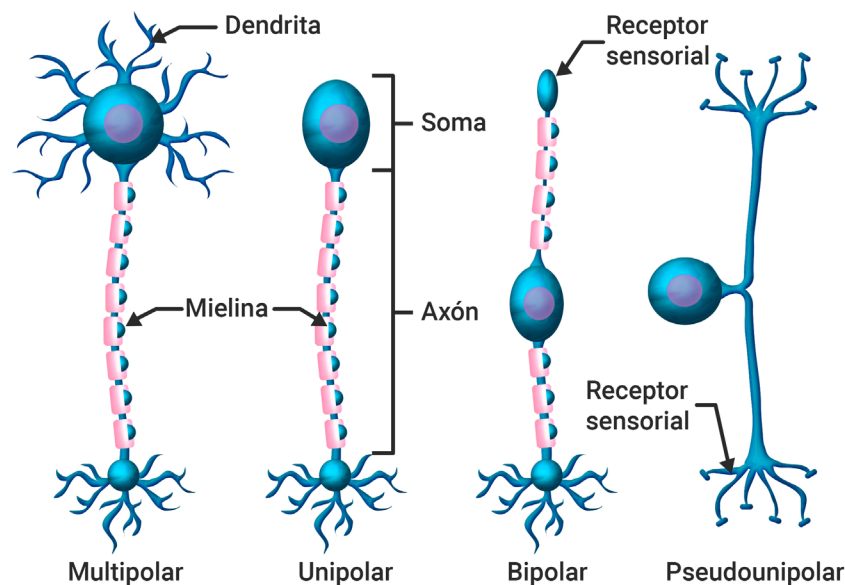
TIPOS DE NEURONAS

Como destaca Redólar (2018), las neuronas se pueden clasificar principalmente con relación a su localización, sus características morfológicas, su función y según la sustancia transmisora que utilizan. Por ejemplo, con relación al tamaño y el soma del cuerpo pueden clasificarse en granulares, fusiformes, en cesta, piramidales, etc. Pero de forma general, suelen clasificarse (*figura 11*) en función de sus características morfológicas, esto es, con relación al número y la disposición de sus prolongaciones, a continuación, se describen (Del Abril, et al, 2016):

- **Neuronas unipolares:** son las neuronas más simples, ya que del soma solo se extiende una sola prolongación. Son características del SN de invertebrados. En los vertebrados también se pueden encontrar, pero se trata de un tipo especial que se conocen como neuronas pseudomonopolares, neuronas en T o pseudounipolares. En las pseudounipolares, la prolongación se divide en dos partes: una que realiza la función de captación de información característica de las dendritas y otra que realiza la conducción de información característica del axón. Son neuronas de tipo sensorial.
- **Neuronas bipolares:** en las neuronas bipolares se encuentran dos prolongaciones en sentido opuesto. Puede llegar a ser confuso identificar qué rama es el axón y qué rama son las dendritas, por ello, y con el objetivo de distinguirlo se suele analizar desde un aspecto funcional. Mientras las dendritas son las encargadas de recibir los mensajes, el axón es el encargado de transmitirlo hasta los botones terminales. Suelen estar presentes en sistemas sensoriales como, por ejemplo, la retina.
- **Neuronas multipolares:** en los vertebrados es el tipo de neurona más común. Desde el soma se extiende el axón y las ramificaciones dendríticas. En función de la longitud del axón se clasifican en neuronas multipolares tipo Golgi I y neuronas multipolares tipo Golgi II, a continuación, se describen:
 - **Tipo Golgi I.** Son neuronas con el axón más largo, entre las que se encuentran las células de Purkinje y las piramidales.
 - **Tipo Golgi II.** Son de axón más corto, como las células granulares del cerebelo.

Figura 11.

Tipos de neuronas.

Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

También se pueden clasificar las neuronas en función de su actividad:

- **Neuronas sensoriales:** son neuronas encargadas de procesar la información sensorial.
- **Neuronas motoras o motoneuronas:** son las neuronas cuya función es motora.

TIPOS DE GLÍAS

Astrocitos

Los astrocitos (figura 12) proceden del ectodermo y son las células gliales que más abundan en el SNC. Desde su cuerpo se extienden múltiples extensiones en todas direcciones. Forman parte de un conjunto de células gliales que se denominan macroglías. Dentro de este tipo de células gliales se pueden diferenciar entre los astrocitos y las células astrogiales.

Figura 12.

Astrocito.

Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

Funciones principales de los astrocitos

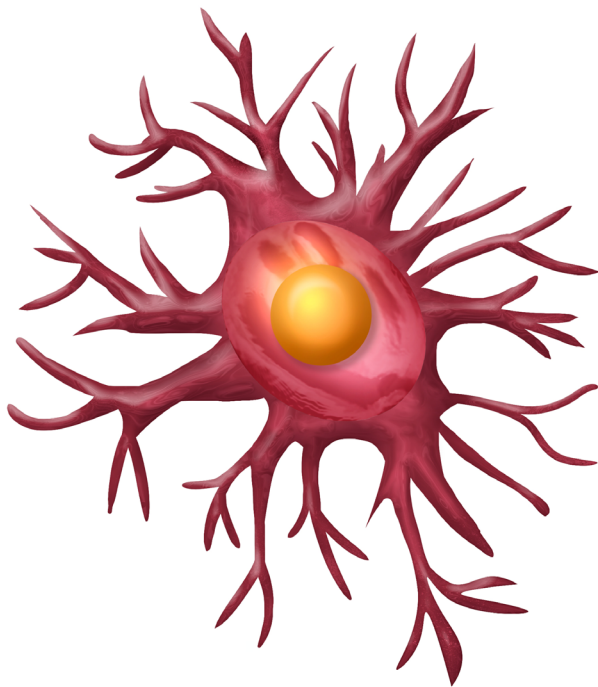
Entre las funciones principales de los astrocitos destaca el **soporte estructural** que proporciona a las neuronas y al encéfalo en sí. Por otro lado, permiten que exista **una separación y un aislamiento** entre neuronas con el objetivo de que los mensajes neuronales no se mezclen. También pueden captar y almacenar neurotransmisores. Los astrocitos cobran especial importancia por su capacidad de reparación y regeneración. Cuando se produce una lesión a nivel neuronal, los astrocitos se multiplican y aumentan su número de prolongaciones al mismo tiempo que limpian la zona lesionada ingiriendo y digiriendo los restos de neuronas. Este proceso se conoce como **fagocitosis**. Por último, como apunta Redolar (2018), los astrocitos podrían ser el enlace entre el sistema circulatorio y las neuronas.

Microglia

Las **microglías** (figura 13) son más pequeñas que los astrocitos, proceden del mesodermo. Como destacan Quesada-Yamasaki (2016), las microglías son células que se encuentran inactivas en el SNC, esto es, son incapaces de llevar a cabo funciones efectoras y de presentación de antígenos hasta que son activadas por alguna infección o lesión.

Figura 13.

Microglia.

Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

Principales funciones de las microglías

Al igual que algunos astrocitos, una de sus principales funciones es fagocitar restos de neuronas. Por otro lado, **protege al SNC de microorganismos invasores** e intervienen en los procesos de inflamación cerebral después de una lesión. Quesada-Yamasaki (2016) afirma que se “ha encontrado nueva evidencia de que la microglia también juega un papel importante participando en la promoción de la supervivencia celular, la proliferación y la diferenciación de células neurales en el desarrollo del SNC adulto”.

Oligodendrocitos

Los **oligodendrocitos** solo se encuentran en el SNC. Su procedencia es el ectodermo y forman parte de las células macrogliales. Este tipo de células producen la mielina y envuelven a las fibras nerviosas.

Se pueden distinguir cuatro tipos de oligodendrocitos dependiendo de su morfología (Redolar, 2012):

- **Oligodendrocitos de tipo I:** se encuentran en el cerebelo, prosencéfalo y médula espinal. Pueden llegar a mielinizar entre 10 y 30 axones de diámetro estrecho.
- **Oligodendrocitos de tipo II:** son parecidos al tipo I con la diferencia que el tipo II se encuentra solo en la sustancia blanca.

- **Oligodendrocitos de tipo III:** son más grandes que los anteriores y se ubican en el bulbo raquídeo, en la médula espinal y en los pedúnculos cerebrales.
- **Oligodendrocitos de tipo IV:** se ubican alrededor de las entradas de las raíces nerviosas al SNC y forman una vaina simple de mielina en los axones de gran diámetro.
- **Oligodendrocitos satélites:** se encuentran en la sustancia gris. A falta de más investigación, no está clara su función.

Principales funciones de los oligodendrocitos

La función principal es producir mielina y proteger al axón con vainas de mielina en el SNC. También protegen a aquellos axones no mielinizados, rodeándolos y manteniéndolos fijos.

Células de Schwann

Las **células de Schwann** se enrollan alrededor de un fragmento de axón y le proporciona una capa de mielina. Este tipo de células desarrolla las mismas funciones que los astrocitos, las microglías y los oligodendrocitos, pero en el SNP, esto es, se encuentran entre las neuronas, fagocitan restos neuronales en caso de lesión en el SNP y forman la mielina en torno a los axones.

COMUNICACIÓN ELÉCTRICA DE LA NEURONA

POTENCIAL ELÉCTRICO DE LA MEMBRANA

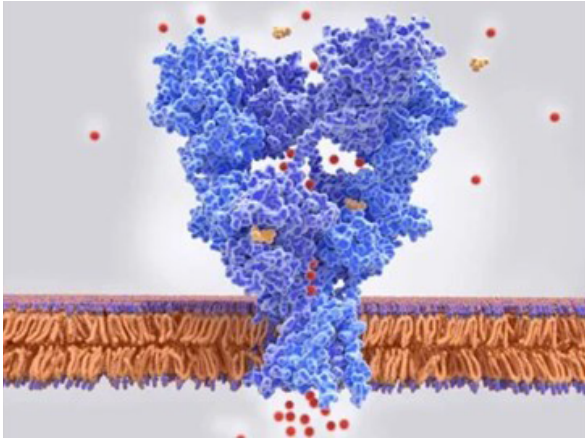
Las neuronas son las únicas células capaces de generar señales eléctricas para comunicarse entre sí. Todo ello, gracias a su membrana, que a través de una transformación que se verá paso a paso, permite la transmisión de la información.

Las neuronas están cubiertas y protegidas por una bicapa lipídica (*figura 14*) y gracias a ella mantienen una diferencia de potencial eléctrico entre el interior y el exterior celular. Esta diferencia de carga eléctrica que se da en ambos lados de la membrana es debido a la existencia de los iones con diferentes cargas (positivas y negativas). La **distribución de iones es asimétrica** debido a la semipermeabilidad de la bicapa lipídica. En la diferencia que existe en la carga eléctrica entran en juego dos fuerzas que son opuestas: fuerza de difusión (de carácter químico) y fuerza electrostática. A continuación, se describe:

- **Fuerza de difusión:** este tipo de fuerza hace referencia al desplazamiento que llevan a cabo las moléculas desde lugares donde se encuentran en una alta concentración a lugares donde están menos concentradas (*figura 15*).
- **Fuerza electrostática:** hace referencia a que iones con la misma carga se repelerán y, por el contrario, iones con carga diferente se atraerán.

Figura 14.

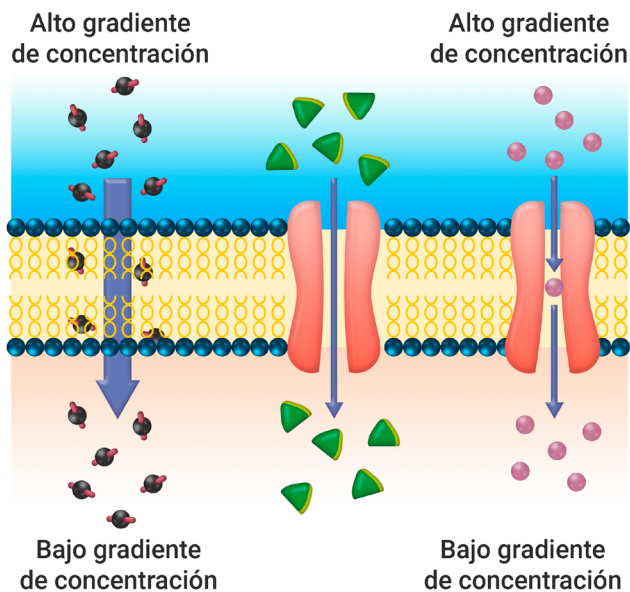
Membrana de una neurona. Obsérvese la bicapa lipídica que compone la membrana celular.



Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

Figura 15.

Fuerza de difusión. Se observa como las moléculas se trasladan desde un lugar en el que existe una alta concentración hacia lugares donde la concentración es menor.



Nota: Tomado de: <https://es.123rf.com/>

POTENCIAL DE REPOSO

El potencial de reposo hace referencia a cuando una neurona está en reposo y no recibe ni envía información. Cuando están en reposo, la diferencia de potencial a través de la membrana es de -70 milivoltios (mV), esto es, el potencial del interior de la neurona en reposo es unos 70 mV menor que el del espacio externo y en este estado, se considera que la neurona está polarizada (Pinel, 2007, p.85). El interior de la célula, al contener más cargas negativas que el exterior, se considera que es negativo. Tanto en un lado de la membrana como en otro se puede encontrar cuatro tipos de iones (Redólar, 2012):

- **Aniones orgánicos (A-):** a nivel general son proteínas con carga negativa.
- **Iones de cloro:** Cl^-
- **Iones de sodio:** Na^+
- **Iones de potasio:** K^+

Los aniones orgánicos solo se encuentran en el fluido intracelular, los demás, se encuentran tanto en el medio intracelular como en el extracelular. Sin embargo, la distribución es desigual, mientras el potasio (K^+) se halla a nivel general en el fluido intracelular; el sodio (Na^+) y el cloro (Cl^-) se encuentran en el fluido extracelular.

Cuando la membrana está en reposo, es más permeable para el K^+ que para el Na^+ . Por otro lado, posee un grado de permeabilidad intermedio para el Cl^- y es impermeable con los aniones. Debido a que el K^+ es bastante permeable, atraviesa la membrana contrarrestando los iones que no la pueden atravesar. El valor de potencial de reposo es de unos -70 mV y este dato indica que el K^+ no se encuentra en equilibrio (Redolar, 2012). La razón de este desequilibrio radica en que la membrana en reposo no es 100 % impermeable al Na^+ y los pocos iones que entran de Na^+ contrarresta la salida de K^+ .

Como se está viendo, estos datos negativos provienen de la diferencia existente entre la composición del medio interno de la neurona con relación a la composición que hay en el medio externo. En el exterior de la neurona, en este caso hay mucho sodio y mucho cloro y en el interior hay mucho potasio y, sobre todo, lo que más puede encontrarse son aniones orgánicos con carga negativa (solo se encuentran en el fluido intracelular). Así pues, se tienen dos elementos que están más concentrados fuera y dos elementos que están más concentrados dentro (Redolar, 2012).

Sin embargo, no solo existen diferencias en la concentración, también se dan diferencias en la distribución de las cargas eléctricas. Cuando se afirma que el potencial de reposo es -70 mV, esto significa que los iones de sodio, de potasio y de cloro, se distribuyen de forma asimétrica de lado a lado de la membrana espontáneamente y se dirigen hacia el lado que les permita ir a favor de gradiente. Esto es, en la dirección hacia donde las fuerzas eléctricas y químicas les empujan. Por ejemplo, si por fuerza química el potasio está muy concentrado dentro, tenderá a salir. Y por fuerza eléctrica, el sodio que tiene carga positiva tenderá a entrar hacia el interior porque el interior tiene cargas negativas. Así pues, se trata de una combinación tanto de la parte química como de la parte eléctrica, lo que determina en qué dirección se mueve el ion de forma espontánea (Redolar, 2018).

El movimiento de los iones de sodio, potasio y cloro a través de la membrana, el potencial de reposo depende de la circulación de todos ellos y este valor es un valor único que se trata de una media de todos los demás valores, es decir, de cada potencial de equilibrio para cada ion correspondiente. Una forma más sencilla de ejemplificar esto es entender que cuando un ion se mueve, el potencial cambia y afecta al potencial de otros iones, por lo que el conjunto de iones genera el potencial de membrana y cuando la membrana está en situación de reposo se le conoce como **potencial de reposo** (Redolar, 2012).

Este potencial va a depender, por un lado, del gradiente electroquímico, ya que ofrece ciertas direcciones, esto es, mientras un ion entra en la membrana, otro sale. Pero también depende de la permeabilidad que tenga la membrana para determinados iones. En el caso del potencial de reposo el ion de potasio es el que mayor permeabilidad presenta a la hora de atravesar la membrana y esto se debe a que en situaciones de reposo la mayor parte de canales iónicos que están siempre abiertos son los canales de potasio. También se encuentran los canales de sodio, pero su presencia es aproximadamente diez veces menos que los canales de potasio. Por esto, para el potencial de reposo el potasio cobra más importancia que el sodio. Tanto el sodio como el potasio son los principales iones protagonistas del potencial de reposo. Ambos utilizan canales que se encuentran abiertos de forma permanente y no necesitan de la activación celular para que se abran. Este tipo de canales reciben el nombre de **canales pasivos** (Del Abril, et al, 2016).

El hecho de circular a favor del gradiente tiene como consecuencia mermar la diferencia entre el espacio extracelular y el espacio intracelular, por lo que se necesita que exista otro tipo de fuerza que mantenga la asimetría. Con el objetivo de mantener esta asimetría, existen las **bombas de sodio-potasio**. Estas bombas, a diferencia de lo que llevan a cabo los canales iónicos, son **canales de transporte activos** (Pinel, 2011). Estos canales gastan energía de la célula y consumen ATP. Esto es así porque su tarea es transportar los iones hacia donde no se dirigen de forma natural. En el caso de la bomba-potasio, lo que hace es expulsar el sodio hacia afuera e introducir el potasio hacia dentro. Es decir, lleva los iones hacia los espacios de los que huirían los iones de forma espontánea. En este caso, si el sodio tiende a entrar, la tarea de la bomba es volver a expulsarlo y si el potasio tiende a salir, lo obliga a quedarse en el interior.

POTENCIAL DE ACCIÓN O IMPULSO NERVIOSO

A lo largo del potencial de acción o impulso nervioso, tienen lugar dos ciclos electroquímicos que ayudan a la propagación de este potencial de acción por la neurona. Se trata de la **despolarización de la membrana y la repolarización** (Del Abril, et al, 2016).

El interior de la neurona posee una carga negativa, mientras que en el exterior predomina una carga positiva, por lo tanto, la membrana se encuentra polarizada. De este modo, la capa interna está en contacto con la carga negativa del interior y la externa en contacto con la carga positiva del exterior. Antes de que ocurra el potencial de acción, las fuerzas de difusión y electrostática tienden a empujar al sodio hacia adentro de la neurona, pero la membrana no es permeable a este ion y la bomba de sodio-potasio lo bombea constantemente hacia fuera de la neurona. Pero, si la membrana se volviese permeable al sodio, este irrumpiría en la neurona con una gran fuerza de difusión y la presión electrostática junto a esta invasión de iones positivos cambiaría de forma significativa la carga eléctrica del interior de la neurona.

Una gran carga positiva ingresaría de forma masiva en la neurona, neutralizando la carga negativa interna y luego volviéndola positiva y, si a esto se le sigue la mayor permeabilidad de la membrana al potasio, este saldría hacia el exterior de la neurona masivamente por la fuerza de difusión y la electrostática, ya que el interior de la neurona al volverse positivo, lo repelería. Para abrirse o cerrarse, aumentando o disminuyendo la permeabilidad de la neurona a determinados iones, depende de la polarización o la despolarización de la membrana. En este caso, el proceso descrito correspondería a la **despolarización** (Redolar, 2012).

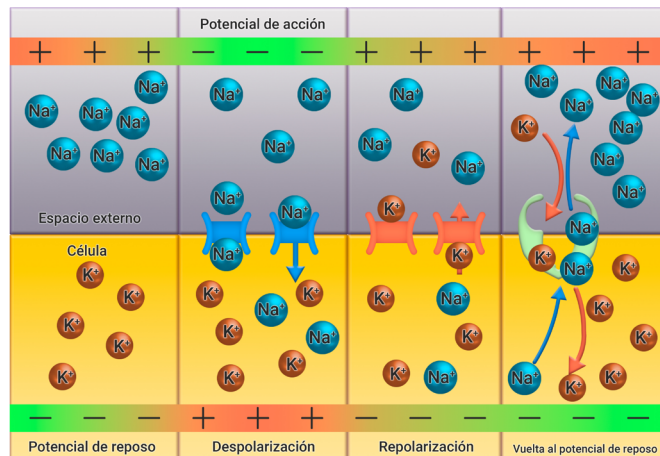
Se dice que la membrana se encuentra en reposo cuando está polarizada y ese equilibrio se mantiene gracias a la bomba de sodio-potasio. Cuando la membrana está polarizada, los canales iónicos de sodio se encuentran cerrados. En estado de reposo, la membrana de la neurona es excitable eléctricamente y cuando esta excitación llega a los -55 mV, se desencadena lo que se conoce como un **potencial de acción**. El potencial de acción es una **onda de despolarización de tipo "todo o nada"** (Redolar, 2018).

Si la excitación alcanza el umbral mínimo, el potencial de acción se desencadena de principio a fin, prolongándose a lo largo de todo el axón. La existencia del umbral es una consecuencia del comportamiento de los canales de sodio y de potasio que son dependientes del voltaje. Una vez que la excitación logra alcanzar el voltaje necesario para abrirlos, se da el ingreso masivo de sodio a la neurona y la salida masiva de potasio hacia el exterior.

Inicialmente, el potencial es local y modifica ligeramente el voltaje de la membrana, pero como los canales de sodio son más sensibles que los de potasio, responden primero abriéndose y así la entrada masiva de sodio es el primer paso en el potencial de acción. Con esto, la membrana se despolariza (*figura 16*) dramáticamente por la entrada de cargas positivas de sodio y se abren los canales de potasio permitiendo su salida al exterior.

Figura 16.

Potencial de acción. Cuando la membrana se encuentra en reposo, el potencial interior de la membrana es negativo y el exterior en positivo. Como se puede observar, las fuerzas de difusión y electrostática tienden a empujar al Na^+ hacia adentro de la neurona. Esto produce que el interior de la neurona se positivice, lo que produce la despolarización y el potencial de acción. En este punto, la bomba de sodio-potasio se encarga de restablecer la concentración de iones propios del estado de reposo dentro y fuera de la neurona y con ello ocurrirá la repolarización de la membrana. Finalmente, vuelve al potencial de reposo.



Nota: Tomado y adaptado de: https://es.123rf.com/photo_27951434_potencial-de-acci%C3%B3n-del-impulso-nervioso-en-las-neuronas-ilustraci%C3%B3n-vectorial-esquema.html?vti=nhtnsezbirbv07w0qq-1-4

Puesto que los canales de sodio son más sensibles que los de potasio, son los primeros también en cerrarse. A medida que el exterior de la célula se positiviza por la salida de potasio que continúa circulando libremente y es atraído por el exterior de la neurona por la fuerza de difusión y por la presión electrostática.

Cuando la salida de potasio supera a la entrada de sodio, la membrana vuelve a polarizarse y se cierran los canales de potasio. En este momento, el potencial de membrana supera el valor de reposo ocasionando una hiperpolarización de la membrana. Puesto que los iones de potasio se habían quedado fuera de la neurona y los de sodio dentro, la bomba de sodio-potasio se encargará de restablecer la concentración de iones propios del estado de reposo dentro y fuera de la neurona y con ello ocurrirá la **repolarización de la membrana** (Del Abril, et al, 2016).

El proceso se inicia con potenciales locales que se suman hasta lograr alcanzar el umbral de **excitabilidad de la membrana**. Estos potenciales disminuyen a medida que aumenta su distancia de propagación. Pero esto no ocurre con el potencial de acción que, al contrario, no cambia su tamaño, incluso si llega a un punto donde la acción se ramifica, el potencial se divide, pero no disminuye su tamaño. Su frecuencia de descarga es siempre igual a lo largo de todo el axón.

Para que el potencial de acción viaje de un extremo al otro del axón, es necesario que el ciclo de despolarización activa de una zona de membrana despolarice a la membrana adyacente en reposo, llevándola hasta el umbral de excitabilidad. Entonces, la membrana en reposo desarrollará un potencial de acción y su ciclo de despolarización despolarizará a la siguiente sección de la membrana inactiva.

Este proceso avanza como una onda por el axón y se **denomina propagación o conducción** (Del Abril, et al, 2016). El potencial de acción viaja por el axón conservando la misma dirección, es decir, no desanda el camino debido a que la membrana por la que acaba de pasar se encuentra en **fase de repolarización** y es absoluta o relativamente refractaria.

Los potenciales de acción se inician siempre en el extremo del axón unido al soma y viajan en forma continua en los axones amielínicos sin variar su amplitud hasta que alcanza los botones terminales. En los axones mielínicos los potenciales de acción saltan de un nódulo de Ranvier a otro en un proceso llamado **conducción saltatoria** (Pinel, 2011). Este tipo de conducción tiene dos ventajas fundamentales. La primera es una ventaja económica, la bomba de sodio-potasio tiene que gastar energía para bombear sodio fuera de la neurona y con ello restablecer el equilibrio, pero los axones mielínicos, los puntos de entrada para el sodio, están únicamente entre nódulos por lo que se reduce su posibilidad de ingreso y luego se requiere del bombeo de menos cantidad de sodio hacia el exterior de la neurona. La segunda ventaja, es el aumento significativo en la velocidad en la conducción y esto permite la reacción más rápida en los animales y en los humanos permite incluso la mayor velocidad en las funciones complejas como, por ejemplo, el pensamiento.

COMUNICACIÓN QUÍMICA DE LA NEURONA

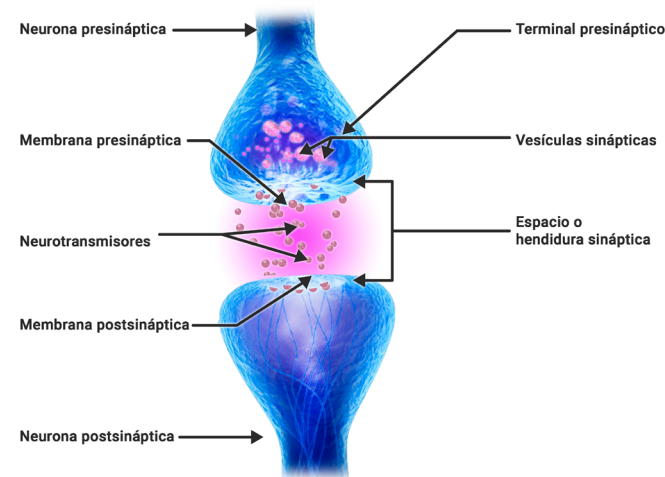
La comunicación entre neuronas puede ser de dos tipos, eléctrica y química. Y en este punto se adentrará en la **comunicación química** (Pinel, 2011). En este tipo de intercambio de información, las neuronas utilizan a los neurotransmisores como medio de comunicación. Los neurotransmisores son liberados por los botones terminales del axón. El medio existente entre las neuronas conocido como **espacio sináptico o hendidura sináptica** es líquido y los neurotransmisores se difunden en ese medio líquido y establecen **sinapsis** con otras neuronas receptoras del mensaje químico.

Los neurotransmisores van a originar potenciales posinápticos que son breves despolarizaciones o hiperpolarizaciones que va a aumentar o a disminuir la frecuencia de descarga del axón de la neurona postsináptica. La neurona transmisora del mensaje se llama **neurona presináptica** y sus terminales son los **terminales presinápticos** (Redolar, 2012). Esta neurona será la que fabrique el neurotransmisor y lo empaquetará en pequeñas vesículas sinápticas rodeadas de membrana en los terminales nerviosos.

Cuando el potencial de acción llega al terminal sináptico (figura 17), las vesículas sinápticas se funden con la membrana de la neurona y liberan al neurotransmisor en el espacio sináptico y estas vesículas se unirán a los receptores existentes en la segunda neurona, la **neurona postsináptica**. Como consecuencia de la unión del neurotransmisor con el receptor se va a modificar la permeabilidad de los canales iónicos postsinápticos y esto es lo que desencadena la despolarización o la hiperpolarización de la membrana postsináptica. La liberación, la difusión del neurotransmisor, su captación por los receptores en la segunda neurona, el inicio de la corriente sináptica en la neurona posináptica, es un proceso que dura entre 0,5 y 1,2 milisegundos y esta demora se la conoce como **retraso sináptico** (Pinel, 2011).

Figura 17.

Sinapsis. Representación de la sinapsis química.

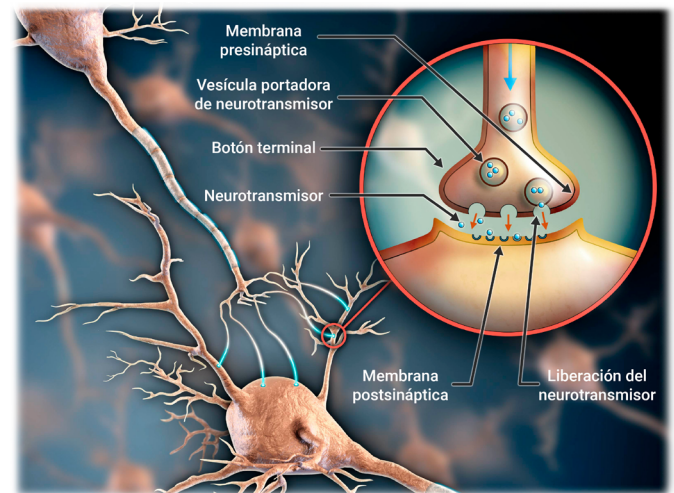


Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

La **membrana presináptica**, donde se encuentran los botones terminales del axón de la primera neurona, está frente a la **membrana postsináptica** de la membrana de la neurona receptora del mensaje. Ambas se encuentran separadas por el **espacio sináptico**, que se trata de una hendidura que contiene líquido extracelular y donde se difunde el neurotransmisor. En las terminales sinápticas se encuentran las **vesículas sinápticas** cubiertas por una membrana lipídica y que tienen como función transportar a las vesículas hacia los botones terminales y llenarlas con el neurotransmisor correspondiente (Del Abril, et al, 2016). Estas vesículas son producidas en el **aparato de Golgi** que está en el soma de la neurona y luego son transportadas a los botones terminales (figura 18).

Figura 18.

Vesículas sinápticas. En esta figura se observa como las vesículas portadoras de neurotransmisores se fusionan con la membrana postsináptica y liberan el neurotransmisor en el espacio sináptico para que sea captado por los receptores de la membrana postsináptica.



Nota: Tomado y adaptado de: <https://es.123rf.com/>

Sin embargo, las vesículas también pueden ser producidas en **cisternas** localizadas en los botones terminales a partir de material reciclado (Del Abril, et al, 2016). Cuando el potencial de acción se propaga a lo largo de todo el axón y llega a los botones terminales, una cierta cantidad de vesículas sinápticas localizadas justo delante de la membrana terminal sináptica se fusionan con ella para romperse y liberar su contenido en el espacio sináptico.

La zona de liberación de la membrana presináptica tiene canales de calcio que son controlados por voltaje y al llegar el potencial de acción la membrana del terminal sináptico se despolariza y abre en los terminales los canales de calcio que, al igual que el sodio, son positivos y se encuentran en mayor concentración fuera de la neurona. Así, al abrirse los canales de calcio, voltajes dependientes de los iones de calcio, ingresan a la neurona empujados por presión electrostática y la fuerza de difusión.

Estos iones se van a unir a proteínas que se encargaban de fijar las vesículas a la membrana en la neurona presináptica, alineándolas en la fila en la zona de liberación de la membrana. Este proceso se llama **anclaje**. Las vesículas sinápticas, después, se abrirán liberando al neurotransmisor en la hendidura sináptica, proceso que se llama **exostosis** (Redolar, 2012).

Después de la liberación del neurotransmisor, la membrana en la primera neurona incorporará a la membrana de las vesículas rotas, haciéndose más grande de forma momentánea, pero como debe conservar su tamaño original "éxito" el "citoplasma" se encargará de atrapar pequeños fragmentos de membrana en un proceso llamado y "ptosis" (Redolar, 2012). Estos fragmentos de membrana migrarán a las cisternas existentes en los botones terminales, se fusionarán con las moléculas lipídicas de la membrana de las cisternas. Así, de estas cisternas se irán desprendiendo cadenas de membrana que formarán nuevas vesículas que, al incorporar a las proteínas indicadas, volverán a llenarse de neurotransmisor. El calcio que ingresó será devuelto al exterior de la neurona por la acción de una bomba activa que lo enviará al retículo endoplasmático y de ahí al líquido extracelular.

El neurotransmisor liberado se une a las moléculas receptoras de la neurona postsináptica y el neurotransmisor que queda libre en el espacio sináptico puede ser degradado e inactivado por enzimas o bien recaptado por la membrana presináptica por endocitosis. Los productos de degradación enzimática también son captados por la membrana presináptica y son reutilizados para nuevas producciones de neurotransmisor, que a su vez volverá a ser empaquetado en las nuevas vesículas.

Los neurotransmisores abren los canales iónicos de dos maneras diferentes: una directa y una indirecta. La **apertura directa** consiste en el acoplamiento directo del neurotransmisor en el receptor y la consecuente apertura de los canales iónicos. En este caso, son los mismos canales iónicos los que están equipados con un lugar propio de unión el cual, al recibir el acople del neurotransmisor, abre el canal iónico en forma inmediata a estos receptores. A este tipo de receptores se les denominan **receptores ionotrópicos**. Sin embargo, existe otra forma en la cual los neurotransmisores van a producir la apertura de los canales iónicos. Se trata de una **forma indirecta**. En este caso, algunos neurotransmisores, en vez de producir directamente la apertura de los canales iónicos, lo que hacen es desencadenar una serie de eventos químicos y como estos eventos requieren de gasto de energía por parte de la neurona se denominan **receptores metabotrópicos** (Del Abril, et al, 2016).

Los receptores metabotrópicos se encuentran muy cerca de unas proteínas de membranas llamadas "**proteínas G**". Cuando el neurotransmisor se acopla a un receptor metabotrópico, este activa a la proteína G que se encuentra en la membrana cercana al receptor y está, a su vez, activará una enzima para que produzca una sustancia que se llamará segundo mensajero. Se le denomina de este modo porque el primer mensajero será el neurotransmisor. Las moléculas del segundo mensajero se van a mover en el citoplasma hasta unirse a canales iónicos y producir así su apertura. Los potenciales postsinápticos, es decir, las despolarizaciones o las hiperpolarizaciones de membrana producidas por los receptores metabotrópicos, suelen tardar más en empezar que los producidos por los receptores ionotrópicos, pero tienen una duración mayor (Pinel, 2011).

Los potenciales postsinápticos pueden ser excitatorios o inhibitorios. Lo que va a determinar el carácter excitatorio o inhibitorio no es el neurotransmisor en sí, sino su acción sobre los canales iónicos en la membrana de la neurona postsináptica, concretamente, qué tipo de canales iónicos abre. Como apunta Del Abril, et al. (2016, p. 202), los canales iónicos controlados por neurotransmisor en la neurona postsináptica son cuatro canales: **canales de sodio, de potasio, de cloro y de calcio**.

La principal fuente de potenciales excitatorio sinápticos es la **apertura de canales de sodio**. La bomba de sodio-potasio mantiene al sodio fuera de la neurona hasta que las fuerzas de difusión y las fuerzas electrostáticas lo empujen al interior. La apertura de los canales de sodio producirá la entrada masiva de estos iones y la consecuente despolarización de la membrana postsináptica que genera lo que se llama un **potencial excitatorio postsináptico** (Del Abril, et al, 2016). Otro aspecto a tener en cuenta es que la bomba sodio-potasio, además de mantener el sodio fuera de la neurona, mantiene un excedente de potasio dentro de la neurona. Si se abren los canales de potasio, este ion saldrá al exterior de la neurona, positivando aún más el exterior y negativizando aún más el interior de la célula. Así se producirá una **hiperpolarización de la membrana** y esto generará un **potencial inhibitorio postsináptico**.

Otra forma de producir un potencial inhibitorio postsináptico es mediante la apertura de **canales de cloro** (Pinel, 2011). Este tipo puede darse en lugar de la apertura de los canales de potasio o sumada a esta última. Los canales de cloro son voltajes dependientes, o sea dependen del potencial de membrana. Si la membrana está en reposo, las fuerzas de difusión y la electrostática se anulan mutuamente respecto del cloro, pero como es un ion negativo es repelido por el interior negativo de la neurona, mientras que su mayor concentración en el exterior de la célula tiende a que se difunda hacia el interior.

De este modo, ambas fuerzas se anulan entre sí y, por lo tanto, no ocurre nada si la neurona está en reposo y se abren los canales de color, pero si se produce actividad excitatoria cercana y la membrana se ha despolarizado, la apertura de los canales de cloro permitirá que estos aniones ingresen a la célula devolviendo a la membrana la polarización característica del reposo y entonces neutralizan la actividad excitatoria cercana.

También están otros canales iónicos que son controlados por neurotransmisores. Se trata de los **canales de calcio** (Pinel, 2011). Estos cationes se encuentran en mayor concentración fuera de la neurona y, por lo tanto, su apertura produce el mismo efecto que la apertura de los canales de sodio. Produce la despolarización de la membrana y entonces un potencial excitatorio postsináptico. El calcio desencadena la migración de las vesículas sinápticas y la posterior liberación del neurotransmisor. Cuando el calcio está presente en las dendritas, produce cambios permanentes en las espinas dendríticas que van a determinar la mayor afinidad entre neuronas y se van a vincular con la actividad de la memoria y del aprendizaje.

Los receptores sinápticos no son exclusivos de la membrana postsináptica, también existen los **autoreceptores**, ubicados en la membrana presináptica (Redolar, 2018). Cuando captan la presencia del neurotransmisor liberado por la neurona, responden a la actividad del neurotransmisor produciendo potenciales postsinápticos en la primera neurona. Los potenciales excitatorios postsinápticos (PEPS) y los potenciales inhibitorios postsinápticos (PIPS) son potenciales muy breves y lo son debido a que la recaptación del neurotransmisor por parte de la neurona presináptica y su degradación enzimática, hacen que los receptores se encuentren expuestos muy brevemente al neurotransmisor.

La frecuencia con la que una neurona genera potenciales de acción está controlada por la actividad excitatoria y la actividad inhibitoria sobre sus dendritas y su soma. Si aumenta la actividad excitatoria, aumenta la frecuencia de disparo de la neurona, es decir, la frecuencia con que manifiesta potenciales de acción, pero si la actividad sináptica inhibitoria es alta, la frecuencia de disparo puede reducirse a cero. Esta interacción entre la actividad excitatoria y la inhibitoria de una neurona se llama **integración neuronal** (Redolar, 2018). La neurona recibe, integra y transmite información y su estructura es un reflejo de su actividad.

Las dendritas reciben, el soma integra y el axón transmite. El tipo de sinapsis descrita hasta ahora es la más típica y recibe el nombre de axodendrítica, esto es, una conexión que va desde los botones terminales de una neurona hasta el árbol dendrítico de la segunda neurona. Sin embargo, existen otros dos lugares en la neurona sobre los cuales puede darse la sinapsis: sobre el soma, en cuyo caso se llaman **sinapsis axosomáticas**, y sobre otros axones, conocidas como **sinapsis axoaxónicas** (Redolar, 2018). Finalmente, añadir que existe otra estructura más sobre la cual la neurona puede llevar a cabo la sinapsis: los músculos, en concreto, en las uniones neuromusculares. En este caso, el axón de una motoneurona establece sinapsis con la membrana de una fibra muscular.

Por último, añadir que la comunicación química entre neuronas cumple una extensa labor dentro del organismo y se puede encontrar diferentes tipos de sinapsis química como las siguientes (Redolar, 2018):

- **Nerviosa:** es el tipo de sinapsis que se ha descrito a lo largo del tema. En este caso se liberan neurotransmisores en las uniones sinápticas y su actuación es local.
- **Endocrina:** en este caso, las hormonas se dirigen al torrente sanguíneo e influyen en células alejadas.
- **Neuroendocrina:** las neuronas secretan neurohormonas que van al torrente sanguíneo influyendo en células alejadas.
- **Paracrino:** las células secretan sustancias que afectan únicamente a las células vecinas.
- **Autocrino:** las células secretan sustancias con las que se afectan a sí mismas.

Neurotransmisores

Como señala Pinel (2011, p. 101), existen dos tipos de neurotransmisores, los de molécula pequeña y los de molécula grande. Con relación a los de molécula pequeña se pueden encontrar cuatro tipos: los aminoácidos, las monoaminas, los gases solubles y la acetilcolina. Los neurotransmisores de molécula grande son los neuropéptidos. Cada uno de los neurotransmisores tiene el potencial de producir tanto excitación como inhibición, pero no pueden hacerlo al mismo tiempo, esto dependerá del subtipo de receptor al que se una.

Aminoácidos

Dentro de los aminoácidos más reconocidos se encuentra el glutamato, el aspartato, la glicina y el ácido gamma-aminobutírico (GABA). Son neurotransmisores rápidos del Sistema Nervioso Central (SNC). El glutamato es el principal neurotransmisor excitador del SNC, mientras que el GABA es el principal neurotransmisor inhibitorio (Pinel, 2011).

Monoaminas

Todas las monoaminas se sintetizan a partir de un solo aminoácido. Son algo más grandes que los aminoácidos. Suelen encontrarse en pequeños grupos situados en el tronco del encéfalo. Existen cuatro tipos de monoaminas: serotonina, noradrenalina, adrenalina y dopamina. En función de sus estructuras se dividen en dos grupos: catecolaminas e indolaminas. Así que, por una parte, dentro del grupo de las catecolaminas se encuentran la dopamina, la noradrenalina y la adrenalina. Las tres monoaminas se sintetizan a partir del aminoácido tirosina. Por otro parte, la serotonina entraría dentro de las indolaminas y se sintetiza a partir del triptófano (Pinel, 2011).

Gases solubles

Dentro de los gases solubles se encuentran el monóxido de nitrógeno y el monóxido de carbono. Este tipo de neurotransmisor, como apunta Pinel (2011, p.102), es difícil de estudiar porque solo duran un par de segundos. Se producen en el citoplasma de la neurona y una vez producidos se difunden a gran velocidad a través de la membrana celular y de ahí al líquido extracelular. Sin embargo, los gases solubles tienen la capacidad de atravesar la membrana postsináptica porque son liposolubles, con lo que una vez que entran estimulan la producción de un segundo mensajero y en poco tiempo son inactivados y convertidos en otro tipo de molécula.

Acetilcolina

La acetilcolina se encuentra tanto en el SNC como en el SNP. Como señalan Del Abril, *et al* (2016, p. 206), se trata del neurotransmisor que interviene en la unión neuromuscular y en las sinapsis que se crean en los ganglios del sistema nervioso autónomo (tanto del simpático como del parasimpático). Los receptores a los que se une reciben el nombre de receptores colinérgicos y existen dos clases diferentes: muscarínicos y nicotínicos.

Neuropéptidos

Los neuropéptidos son los neurotransmisores de molécula grande (Redolar, 2012). Entre los más destacados se encuentran las endorfinas. Este tipo de neurotransmisor es un opiáceo endógeno. Las endorfinas tienen la capacidad, por un lado, de activar sistemas neurales que producen analgesia, esto es, disminución de la sensación de dolor y, por otro lado, de activar sistemas neuronales que intervienen en la sensación de placer.

RESUMEN

A lo largo de este tema se ha profundizado en la definición de sistema nervioso (SN) y se han abordado tanto el sistema nervioso central (SNC) como el periférico (SNP). También se ha podido indagar en las neuronas y en las neuroglías, detallando qué tipos de neuronas y de neuroglías se pueden encontrar en el SN. Por último, se ha abordado la comunicación de la neurona, tanto eléctrica como química. En la comunicación eléctrica se ha tratado el potencial eléctrico de la membrana, el potencial de reposo y cómo se produce el potencial de acción. Con relación a la comunicación química, se ha repasado en qué consiste la sinapsis neuronal, esto es, la forma en que se comunican las neuronas entre ellas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Del Abril, A., Ambrosio, E., de Blas, M^a., Caminero, M.A., García, C., Higuera, A. y de Pablo, Juan. (2016). Fundamentos de psicobiología. Editorial Sanz y Torres.
2. Pinel, J. (2011). Biopsicología. Editorial Pearson.
3. Quesada-Yamasaki, D., Arce-Soto, E., Karol, R., Fornaguera-Trías, J. y Mora-Gallegos, A. (2016). El papel de la microglía en la señalización neuroinflamatoria y la respuesta neuroinmune. Neurobiología, revista electrónica, 7 (16), 1-13.
4. Redolar, D. (2012). Fundamentos de psicobiología. Editorial UOC.
5. Redolar, D. (2019). Psicobiología. Editorial Médica Panamericana.
6. Verkhratsty, A. y Butt, A. (2007). Glial neurobiology: a textbook. Wiley.