



Universidad de Valladolid



<https://www.researchgate.net/profile/Diego-Fernandez-Lazaro>



@fdezlazaro



@Fdezlazaro

Histología del Sistema Nervioso: Evolución filogenética, la neurona, diferencias SNC-SNP

Dr. Prof. Diego Fernández-Lázaro
diego.fernandez.lazaro@uva.es Tel: 975129185

Diego Fernández Lázaro

Índice:

- 1- Evolución filogenética
- 2- Técnicas para el estudio del sistema nervioso
- 3- La neurona
- 4- Dendritas
- 5- Neurona tipo piramidal
- 6- Transporte de sustancias en el axón
- 7- Fibra nerviosa
- 8- Diferencias SNP-SCN
- 9- Fisiología de los neurotransmisores
- 10- Neuroglía

Tejido nervioso

Procedente del ectodermo. **Propiedades:**

- Irritabilidad: transmisión de impulsos dentro de cada célula.
- Conductibilidad: transmisión de impulsos entre células.

Evolución filogenética:

- Las esponjas presentan un tipo de célula capaz de estimularse y contraerse al mismo tiempo .
- Las anémonas presentan dos células, una capaz de estimularse y la otra de contraerse.
- La lombriz de tierra se localiza una tercera célula, la cual recoge la información y la transmite a la última célula, cuya respuesta es la contracción.
- Los humanos poseen 100.000 millones de neuronas muy especializadas con axones mielínicos.
- Las neuronas no se regeneran (tiene muy poca potencialidad). Se encuentran dentro de los huesos craneales o en el interior de la médula espinal, con el fin de evitar el contacto con el exterior.

El sistema nervioso está formado por:

- Neuronas
- Células de la glía
- Vasos sanguíneos

Técnicas para el estudio del sistema nervioso:

- **Tinción de Golgi:** las neuronas se tiñen por completo (soma, dendritas y axón), pero solo 1 neurona de cada 100.
- **Técnica de degeneración (Nauta gigas):** provocar un traumatismo o lesión en una neurona. La fibra degenera, sufre cambios y se compara con las neuronas que la rodean. Así se puede estudiar el recorrido de la fibra entera.
- **Hematoxilina-eosina:** el núcleo se tiñe de color azul y el citoplasma de rosa.
- **Osmio:** se tiñe la mielina.
- **Técnica de Nissl:** marca de azul los grumos de Nissl (se corresponden con el RER).
- **Autorradiografía de transporte:** uso de una sustancia radiactiva y observación sobre dónde llega. Permite ver las conexiones de unos núcleos con otros.
- **Trazadores neuronales** (evitan la técnica anterior): sustancias para estudiar las conexiones o relaciones de unas zonas cerebrales con otras. Existen dos tipos de

trazado res neuronales:

- **Anterógrados** : inyectar esa sustancia en un núcleo; la neurona capta el trazador y lo transmite a otro grupo neuronal, en el cual observamos las fibras. El trazador es centrífugo (desde el soma a las prolongaciones). Ejemplos: BOA, phaseolus, con el cual se visualizan las fibras.
- **Retrógrados** : la información va desde la terminación nerviosa hacia el soma. Es centrípeto o celulípeto. Ejemplos: fluorescentes (se observan a continuación con microscopios de fluorescencia), peroxidasa. Los somas se marcan retrógradamente.
- **Glucosa radiactiva marcada con carbono 14**: La glucosa normal compete con la marcada con carbono 14, se va degradando, observando esta actividad por una auto-radiografía o PET.
- **Técnicas basadas en campos magnéticos**. Las corrientes eléctricas crean campos magnéticos que son captados por superconductores. Es más específica que la técnica anterior, ya que mide la actividad en tiempo real.

*Neuropilo: conjunto de muchas fibras nerviosas

La neurona

Término introducido por Waldeyer, quien afirmaba que la neurona estaba constituida por un soma y diversas prolongaciones, las dendritas, y una única prolongación más larga y fina denominada axón.

Teoría del reticulismo: las prolongaciones se anastomosan formando una red

Más tarde Cajal observa que no existe tal anastomosis, sino que algunas prolongaciones contactan entre ellas (pero sin continuidad), definiendo la teoría del neuronismo.

Posteriormente Golgi afirma que existe una anastomosis entre los axones.

La teoría vigente actualmente es la teoría del neuronismo, surgiendo la **teoría de polarización dinámica de Cajal**: el impulso nervioso llega a la neurona por las dendritas (centrípeto), llega al soma y sale del soma por el axón (centrífugo).

→ Todo lo que llega al soma es centrípeto o celulípeto y lo que sale, celulífugo o centrífugo

Clasificación de las neuronas: según el tamaño de la neurona (el del soma), las prolongaciones, la longitud del axón, el destino del axón y su funcionalidad.

- **Por tamaño del soma:**
 - Pequeñas: miden de 5 a 7 micras y son las células grano del cerebelo.
 - Medianas: las más frecuentes
 - Grandes: ej, las del asta anterior de la médula, neuronas piramidales.
- **Respecto a la morfología de sus prolongaciones:**
 - Multipolar o estrellada: con varias prolongaciones, las más frecuentes
 - Bipolares: una actúa como dendrita y otra como axón.
 - Pseudomonopolar: soma esférico y dos prolongaciones, una actúa como axón y otra como dendrita. Se encuentra en el ganglio raquídeo.
 - Monopolar: ej, las células amacrinas de la retina.
- **Respecto a la longitud del axón:**
 - Axón largo (tipo 1): células piramidales o radicales del asta anterior.
 - Axón corto (tipo 11): en corteza cerebral.
- **Dependiendo del destino del axón:**
 - **Neuronas de proyección** (tipo 1):
 - Aferentes: llegan a la corteza cerebral (fibras sensitivas)
 - Eferentes: salen de la corteza cerebral (vías piramidales o motoras)
 - **Neuronas de asociación** (tipo 2): relacionan unas neuronas con otras y su axón es más corto. No suelen salir de la corteza cerebral, sino que conectan un lóbulo con otro, pasando por el cuerpo calloso.
- **Dependiendo de su función:**
 - Excitadoras: reciben el impulso nervioso, se produce una despolarización de la membrana y transmite el impulso a otra neurona.
 - Inhibidoras: cuando recibe el impulso se produce una hiperpolarización en la membrana plasmática, lo que produce la detención del impulso.
 - Mixtas

Dendritas: gruesas ramificaciones con dilataciones (espinas dendríticas) donde se realizan los contactos sinápticos. Este concepto clasifica las neuronas en:

- Con espinas
- Sin espinas o asoespinosas

Dentro de las dendritas observamos algunos orgánulos, pero menos (hay menos espacio que en el soma).

Axón: prolongación única, más delgada y larga que las dendritas. Termina en unas ramificaciones llamadas telodendrom. Estas terminaciones pueden tener diferentes morfologías:

- Cesta
- Candelabro

A este nivel se realiza también la sinapsis. En el axón NOOOO existen grumos de Nissl (RER).

Neurona tipo → piramidal: en la parte basal tiene dos engrosamientos que se corresponden con las dendritas. En el vértice se distingue la dendrita apical con ramificaciones en ángulo agudo. De la parte basal surge el axón, que normalmente parte del soma entre las dos dendritas basales. El axón va a tener pocas ramificaciones, que salen en ángulo recto.

- **Soma:**
 - **Núcleo:** en el núcleo encontramos cromatina laxa, más densa en la periferia del mismo. Existe un acúmulo de cromatina cerca del nucleolo que se denomina cromatina de Barr (cromosoma X plegado). En el núcleo se localiza el nucleolo en posición central con componentes fibrilar y granular muy desarrollados. Si se estimula la síntesis proteica, el nucleolo aumenta de tamaño y se desplaza hacia la membrana nuclear. El RNA pasa al citoplasma y las mitocondrias se desplazan hacia el nucleolo, disminuyendo este de tamaño. En el núcleo encontramos también el **cuerpo accesorio de Cajal** (con afinidad argéntica), que no existe en el núcleo de las neuronas simpáticas. Con actividad axónica el cuerpo aumenta de tamaño. El **cuerpo accesorio de Roncoroni** es una estructura cristalina en forma de bastón (bastoniforme) que aparece también en el núcleo.
 - **Citoplasma**
 - **Mitocondrias:** se distribuyen por todo el citoplasma y cuando se desarrolla la síntesis proteica se desplazan cerca del núcleo. Presentan crestas

laminares perpendiculares al eje mayor de la mitocondria.

- **RER → Grupos de Nissl** {se tiñen con hematoxilina): punteados azules que se corresponden con el RER. Nunca aparece en el axón, sí en dendritas.
- **Golgi:** encargado de facilitar las membranas para las diferentes organelas . Los neurotransmisores se van a rodear de membranas facilitadas por el Golgi.
- **Lisosomas:** aparecen muy desarrollados y en todos sus estadios. De la endofagocitosis de estos lisosomas depende el funcionamiento de la neurona .
- **Centriolos y neurotúbulos:** también muy desarrollados. Respecto al sistema tubular, encontramos microtúbulos, microfilamentos, neurotúbulos, neurofilamentos, que se encuentran repartidos por todo el citoplasma.
- **Pigmentos:** melanina, que es el pigmento existente en las neuronas, diferente a la melanina cutánea (por tanto está presente también en los albinos) al perder su actividad con el agua oxigenada. La melanina es más abundante en las neuronas que contienen dopamina (sustancia negra), es considerada como almacén de sustancias precursoras de la formación del neurotransmisor (dopamina).

*7 Cada neurona puede tener entre 1000 y 10.000 sinapsis

- **Neurilema:** membrana plasmática neuronal. Lugar donde se desarrollan los cambios cuando le llega un impulso nervioso. Es una bicapa lipídica con proteínas intercaladas, que se localizan en función de la zona de la membrana (esto es importante para la transmisión del impulso nervioso, como se vio en fisiología):

1. Canales:

- De sodio
- De potasio
- De cloro
- De calcio

2. Bomba

- De sodio-potasio

3. Enzimáticas
 - Ciclasa
 - ATPasa
 3. Receptores: provocan respuesta a un neurotransmisor.
 5. Estructurales: encargadas de mantener la estructura de la membrana
- **Axón:** hay abundantes canales regulados por voltaje. Al recibir un estímulo nervioso, se abre el canal de sodio. El sodio se introduce al interior de la célula y el voltaje se hace positivo (+70 mV). Por ello, se abren los canales de potasio y este sale hacia el exterior, recuperando -70mV. A continuación, actúa la bomba de sodio, que saca el sodio del interior al exterior celular e introduce potasio al interior. El axón suele salir del soma, pero en ocasiones puede salir de una dendrita. Se distinguen tres partes:
 - **Cono de arranque:** entre soma y axón (salida del axón) formando una red neurofibrilar
 - **Segmento inicial:** más fino, presenta una membrana o axolema donde se genera el potencial de acción. Por dentro de la membrana plasmática se observa una banda densa en la cual se sitúan, en la parte externa, granulaciones. Por debajo una línea homogénea y en el interior una parte filamentosa. Las tres estructuras forman la banda densa situada por dentro de la membrana del axón.
 - **Segmento final:** el más largo del axón, puede recubrirse de mielina en el caso de fibras mielínicas. Nos encontramos mitocondrias alargadas, cisternas de calibres irregulares y el sistema tubular perfectamente organizado. Los microtúbulos están formados por alfa y beta tubulina y están distribuidos en forma longitudinal. Los microfilamentos se forman a partir de 3 subunidades proteicas y tienen la misma acción que los filamentos intermedios en otras células (unen elementos a la membrana plasmática). Neurotúbulos y neurofilamentos son estructuras longitudinales que se sitúan de manera paralela al eje del axón

En el axón encontramos vesículas que contienen neurotransmisores (se originan en el soma) o sustancias precursoras de neurotransmisores

*En el axón NO existen grumos de Nissl (RER)

Transporte de sustancias en el axón: el soma fabrica las sustancias necesarias para el

correcto funcionamiento de la neurona, pero muchas de las sustancias que fabrica desempeñarán su función en lugares muy alejados dentro de la propia neurona (recordar que el axón puede medir hasta 1 metro). Para ello, es necesario coordinar un complejo mecanismo de transporte de sustancias.

Existe un desplazamiento a lo largo del axón en dirección retrógrada (del final del axón al soma), que recibe el nombre de centrípeto o celulípeto. También puede suceder un transporte anterógrado, del soma al axón.

- **Flujo axónico lento:** siempre es anterógrado. Se transportan materiales filamentosos.
- **Transporte axónico:** es un transporte rápido que puede ocurrir en las dos direcciones. Se clasifica en función de la velocidad de conducción de la sustancia:
 - Velocidad rápida:
 - Tipo I: transporte de vesículas que intervienen en la sinapsis y en el mantenimiento de las membranas (transporte anterógrado)
 - Tipo II: REL y lisosomas
 - Velocidad más lenta:
 - Tipo III: enzimas citoplasmáticos
 - Tipo IV: materiales del citoesqueleto
 - Tipo V: materiales del citoesqueleto (más lento).

La velocidad de las vesículas depende de las necesidades de la neurona, lo que no ocurre con los filamentos (flujo periódico). Este desplazamiento está activado por la quinesina (¿nos acordamos de la quinesina y su movimiento por los microtúbulos?). También interviene la actina en el transporte.

El transporte axónico también puede ser retrógrado, el cual desplaza las sustancias de la parte periférica del axón al soma. Esta es la vía de transporte del virus de la rabia y por algunos trazadores neuronales.

Fibra nerviosa: desde el cono de arranque a la terminación del axón (filete nervioso). Esta estructura puede estar recubierta de mielina (fibra mielínica). Si no lo está, la fibra se denomina amielínica. Cuando un nervio está formado por ambos tipos de fibras el nervio se llama MIXTO.

La mielina se forma por la célula de Schwann en el SNP. En el SNC la mielina es proporcionada por los oligodendrocitos. Se observan tres estructuras (de la periferia al

axón):

- **Neurilema:** parte más externa que se corresponde con la membrana plasmática de la célula de Schwann. Esta célula bordea el axón y forma las vainas de mielina. Entre una célula de Schwann y otra queda un espacio llamado discos o nódulos de Ranvier. Los nódulos llegan al axón, y es por donde salen las ramas colaterales del axón. En el SNC entre un nódulo de Ranvier a otro existen 0'8 mm y en el SNP, 1mm. A nivel de los nódulos de Ranvier, las membranas plasmáticas de las células de Schwann sufren una dilatación: bulbos paranodales (ME) obrazaletes espinosos de Nageotte (MO), que se unen en la parte basal con el axón formando unos puentes filamentosos, entre los cuales queda el espacio de Hirano. Entre dos nódulos de Ranvier se encuentran también varias cisuras oblicuas, denominadas cisuras de Schmidt Lantermann, en cuyo interior se sitúan los filamentos de Golgi-Rezzonico.
- **Mielina:** en el SNC los oligodendrocitos proporcionan la mielina. Tiene prolongaciones citoplasmáticas con las que envuelve las fibras nerviosas. La mielina supone las 2/3 partes del diámetro de la fibra. Proporcionan color blanco (sustancia blanca).
 - El 80% de la mielina del SNP corresponde a lípidos y el 55% de las proteínas son proteínas o básicas de mielina (PO, la más frecuente del SNP, PI, semejante a la proteína básica del SNC y la P2, proteína básica del SNP).
 - En el SNC la mielina está formada por lípidos, aunque en menor cantidad (70%). Existe la proteína básica de mielina del SNC, localizada en las caras internas de la MP, favoreciendo su unión. En estas membranas existen pocas proteínas canales. Además, existen proteolípidos, situados en la cara externa de la membrana plasmática, que mantienen la integridad de la membrana. Hay además de glicoproteínas, que se sitúan a lo largo de toda la MP que, junto con los enzimas, son las menos frecuentes.
- **Axón:** rodeado de láminas, presentando una arquitectura laminar periódica, formada por unas líneas densas y unas bandas claras que se alternan. Las líneas densas o periódicas se forman por la unión de la parte interna de las membranas.
 - Las bandas claras se forman por la unión de los lípidos, formando la banda intraperiódica (se forman por la unión de la parte externa de las membranas). En el centro de esta banda se aprecia una fina banda interperiódica)
 - Las zonas en las que contactan las membranas plasmáticas de las células de Schwann se denominan mesaxón (interno y externo). La vaina de Mauthner es el citoplasma de la célula de Schwann que se localiza entre el axón y las

membranas plasmáticas.

Diferencias SNC-SNP

En el SNC es la célula de Schwann la que forma la mielina, mientras que en el SNP es el oligodendrocito. En el SNC, 1 célula de Schwann mieliniza 1 fibra, mientras que en el SNP 1 oligodendrocito mieliniza varias fibras. El nódulo de Ranvier es más ancho en el SNP. En el SNC las cisuras de Schmidt-Lanterman son muy escasas, y la vaina de mielina es más estrecha.

Mielogénesis (SNP): las células de Schwann, procedentes de las crestas neurales, se sitúan por encima de las fibras nerviosas del axón. Si las fibras miden menos de una micra de diámetro no se mieliniza. Si mide más de una micra se apoya sobre ella y la va rodeando. Desde cada nódulo de Ranvier al siguiente solo existe una célula de Schwann.

Los lípidos se recambian cada semana y las proteínas cada mes.

*7 Cuando la fibra no se encuentra rodeada por células de Schwann se denomina fibra amielínica o gris. Se encuentran atravesando el citoplasma de las células de Schwann. Cada una está rodeada de una membrana procedente de la célula de Schwann. Cada fibra nerviosa tiene su mesaxón, procedente de la MP de la célula de Schwann, excepto en el nervio olfatorio, donde el mesaxón es común para todas las fibras.

Velocidad de conducción:

- Tipo a: de conducción rápida, fibras motoras
- Tipo b: de velocidad lenta, fibras sensitivas
- Tipo c: de velocidad muy lenta, sistema vegetativo.

La velocidad se calcula en función del diámetro de la fibra (en micras), multiplicado por 6, se hallan los m/s de la fibra. La mielinización es un paso evolutivo en la escala filogenética. Una fibra mielínica 25 veces más delgada, tiene la misma velocidad que una amielínica gruesa. Es decir, la mielina aumenta por 25 la velocidad de conducción.

Sinapsis: es la relación (conexión) que existe entre las terminaciones.

- Tipo I: asimétricas, se producen con vesículas redondeadas y son activadoras
- Tipo II: simétricas, se producen con vesículas ovales y son inhibidoras
- **Elementos de la sinapsis** (se desarrolla más adelante):
 - Botón presináptico: terminación del axón

- Hendidura sináptica
- Elemento postsináptico

***Tipos:**

- **Según su estructura:** nombradas por dos vocablos
 - Botón presináptico
 - Elemento postsináptico

Ej: axosomáticas, axoespinodendríticas, axodendríticas, axoaxónicas.
- **Según el modo de realización de las sinapsis:**
 - De paso
 - Terminales: el axón finaliza en la sinapsis con diferentes formas
- **Según el punto de vista ultraestructural:**
 - Tipo I: asimétricas, se producen con vesículas redondeadas y son Activadoras
 - Tipo II: simétricas, se producen con vesículas ovales y son inhibidoras
- **Según el punto de vista bioquímico, según su neurotransmisor**
 - Gabaérgicas
 - Colinérgicas
 - Dopaminérgicas
 - Noradrenérgicas
- **Según el punto de vista fisiológico:**
 - Excitadora: despolarización
 - Inhibidora: hiperpolarización

*Es frecuente encontrar polisínapsis en un botón sináptico.

Elementos sinápticos:

- **Botón presináptico:** dilatación en cuyo interior encontramos mitocondrias,

microtúbulos, microfilamentos y vesículas redondeadas u ovaladas que contienen el neurotransmisor (producto químico de la sinapsis). Las vesículas se sitúan cerca de la membrana plasmática del botón presináptico. En la parte más interna de la membrana existe una rejilla denominada rejilla presináptica. Los agujeritos de la rejilla son poros llamados sinaptoporos. Es aquí donde la membrana de la vesícula se fusiona con la rejilla presináptica, liberándose así el neurotransmisor.

- **Hendidura sináptica:** espacio que queda entre el botón presináptico y el elemento postsináptico, con cierta densidad debida a los glicosaminoglicanos. Encontramos el neurotransmisor liberado y enzimas encargadas de metabolizar los neurotransmisores.
- **Elemento postsináptico:** encontramos un engrosamiento de la membrana postsináptica formado por material filamentoso que emite filamentos finos partiendo de ella. También encontramos una lámina densa y homogénea situada paralela a la superficie de la membrana. En sinapsis axo-espinodendríticas es frecuente que aparezca como cisternas aplanadas. Puede haber pequeñas vesículas rodeadas de membrana unidas por filamentos finos a la membrana plasmática.

*Repetimos por tercera vez, para que quede bien claro. Según Gray, las sinapsis se clasifican en tipo I y tipo II:

- **TIPO I:** las vesículas son claras y redondas, con mayor densidad en el elemento postsináptico, por lo que reciben el nombre de asimétricas (las densidades de las membranas de ambos elementos son diferentes). La hendidura sináptica es más ancha que la del tipo II. Son excitadoras
- **TIPO II:** presenta vesículas ovales, con unas densidades iguales en las membranas de los elementos, por lo que reciben el nombre de simétricas. Son inhibitorias.
- Otro nuevo tipo presenta vesículas con núcleo denso. El neurotransmisor suele ser una monoamina (como dopamina, noradrenalina, serotonina, etc.)

Fisiología de los neurotransmisores (generalidades):

1. **Síntesis del neurotransmisor:** puede ocurrir en un paso, como la acetilcolina o con varios como con la noradrenalina (en cuyo caso se realiza un proceso fuera de la vesícula, se introduce en la vesícula y la síntesis no finaliza hasta estar en el interior de la misma)
2. **Almacenamiento**
3. **Liberación hacia la hendidura sináptica:** en el botón presináptico. Cuando llega una corriente eléctrica, pone en funcionamiento los canales de Ca^{++} ,

que entra al botón y provoca que las vesículas avancen hasta la rendija presináptica. De esta forma contactan con la membrana de la rejilla, abriéndose y cayendo el neurotransmisor por los sinaptoporos.

- 4. Acoplamiento del neurotransmisor con los receptores del elemento postsináptico:** en función de los receptores la neurona se activa o se inhibe. Si se abren canales de sodio se produce una despolarización, una excitación y la continuidad del impulso. Si se abren canales de cloro se produce una hiperpolarización con la consecuente inhibición.
- 5. Destrucción del neurotransmisor:** mediante enzimas o transportado por células gliales, donde es destruido. En otras sinapsis puede pasar al botón presináptico

- a. Sinapsis gabaérgicas (-): sus vesículas son ovas (es decir, sinapsis de tipo 11 o inhibitoras). Son el tipo de sinapsis más frecuente en la corteza cerebral.

La formación del neurotransmisor comienza con el glutamato, el cual mediante la acción de la glutamato descarboxilasa forma el GABA. Cuando llega un potencial de acción a la membrana, provoca la apertura de canales de calcio y la consecuente apertura de las vesículas. El neurotransmisor cae a la rejilla.

En el elemento postsináptico hay dos tipos de receptores, GABA A y B. Los A están mediados por canales de cloro. Los B están unidos a una proteína relacionada con cGMP; son de acción más lenta. Interactúan con canales de K^+ y Ca^{++} .

En la hendidura sináptica llega a las células de la glía, donde es eliminado. También puede introducirse en el botón presináptico.

- b. Sinapsis colinérgica (+): a partir del acetil coenzima A y colina, por acción de la colina acetiltransferasa se forma la acetilcolina. Cuando llega el potencial de acción la acetil colina se libera.

Los receptores muscarínicos se unen a proteína G provocando la formación de cGMP.

El receptor nicotínico presenta 5 subunidades (2 alfa, 2 beta y 1 gamma). La acetilcolina se fija en las subunidades alfa (2 ligandos por cada receptor). Este receptor es un canal de sodio, por lo que es una sinapsis excitadora. La acetilcolina, mediante la acetil colinesterasa se divide en colina y acético, que regresan al botón presináptico para reutilizarse.

- c. Sinapsis glutamatoérgica: el ácido glutámico se elabora en el ciclo de

Krebs. Se rodea de membrana, la vesícula se abre y cae el glutamato en la rejilla. En el elemento postsináptico existen receptores AMPA: canales de calcio. Cerca de ellos se encuentra una neurona GABA puede neutralizar el impulso (modulación). Si llegan impulsos en cadena, se abre el canal NMDA (calcio y sodio), provocando la neutralización de sinapsis inhibitoras.

En el terminal presináptico también hay algunos receptores.

El glutamato restante de la sinapsis llega hasta las células de la glía, que mediante la glutamislantetasa se convierte en glutamina (la cual vuelve al terminal presináptico para ser reciclada).

d. Sinapsis dopaminérgicas: la tirosina se convierte en DOPA por la tirosinhidroxilasa, y ésta por la DOPacarboxilasa en dopamina. Se forma la vesícula y se abre para liberar el neurotransmisor. Elemento postsináptico: receptores:

i. D1: de acción lenta, utiliza como segundo mensajero el cAMP

ii. D2: de acción rápida

En el botón presináptico presenta algunos receptores (autoceptores), utilizados para eliminar la dopamina sobrante.

El enzima COMT y la MAO metabolizan la dopamina convirtiéndola en ácidos que son productos de degradación. Esta sinapsis presenta unas vesículas con núcleos densos.

e. Sinapsis noradrenérgicas: la noradrenalina se forma a partir de la dopamina, por la dopamina beta hidroxilasa. La noradrenalina termina de formarse en la vesícula. Esta se abre y libera su contenido en la hendidura sináptica.

La noradrenalina se acopla a receptores del elemento postsináptico: alfa 1(calcio) y beta 1. En el botón presináptico existe un receptor (autoceptor) alfa 2 que regula la síntesis de la noradrenalina.

La noradrenalina se puede eliminar por acción de la MAO y COMT. Las vesículas son redondas con núcleo denso.

f. Sinapsis serotoninérgica: se lleva a cabo cuando en el terminal axónico se introduce triptófano y glucosa. Por la triptófano deshidrogenasa, el triptófano se convierte en 5-hidroxi-triptófano, que por una descarboxilasa da lugar a la serotonina (5-hidroxi-triptamina), que se

introduce en la vesícula y sale a la hendidura sináptica.

Existen 5 tipos de receptores (tanto en elemento presináptico como en el postsináptico), localizados en zonas diferentes del SN.

La serotonina es degradada por la MAO (monoamino oxidasa).

Sinapsis especiales:

- **Sinapsis axoespinodendrítica:** formada por axón-hendidura y espina dendrítica. En la espina llama la atención una estructura llamada aparato espinoso (2 o 3 cisternas aplastadas entre las que se sitúa una banda densa). En una misma espina es frecuente encontrar más de una sinapsis.
- **Sinapsis en laminillas:** característica de la retina, tiene forma de láminas en el elemento presináptico (conos y bastones), que hacen sinapsis con las células bipolares.
- **Sinapsis en bastón:** característica de la glándula pineal. Presenta en la membrana una depresión donde se origina el bastón.
- **Sinapsis neuromuscular o placa motora:** formada por un terminal nervioso axónico que actúa como botón presináptico, donde se localizan las vesículas que contienen un neurotransmisor, la acetilcolina. Las vesículas son redondeadas, por lo que la sinapsis es excitadora. El elemento postsináptico lo forma la membrana plasmática o sarcolema de la célula muscular estriada esquelética. Esta sufre unas modificaciones, hendiduras que se denominan hendiduras sinápticas primarias. Estas a su vez pueden tener otra nueva doblez llamadas hendiduras sinápticas secundarias, más estrechas en la parte cercana a la hendidura primaria y más anchas en la parte cercana a la fibra. Al conjunto de las hendiduras primarias y secundarias y de la membrana plasmática del elemento postsináptico se le denomina aparato neuronal de Couteaux. En la hendidura sináptica encontramos la acetilcolinesterasa.

Neuroglía: existe glía en el SNC y SNP.

En el **SNC** se clasifica en:

- **Macroglía:**
 - **Astrocitos:** con forma de estrella, presentan en su citoplasma la proteína fibrilar gliar ácida, que solo se encuentra en los astrocitos (si realizamos una inmunohistoquímica de esta proteína, solo se marcan los astrocitos).
 - **Protoplásmicos:** presentan un núcleo redondeado y central. En su citoplasma aparecen pocas organelas (citoplasma claro):

mitocondrias, miofibrillas y gránulos de glucógeno. El citoplasma emite prolongaciones que llegan a los vasos, rodeándolos y denominados pies chupadores o trompas de Achucarro. Aparecen en la sustancia gris. Se tiñen con técnicas de plata.

- **Fibrosos:** se caracterizan porque presentan un soma más irregular con prolongaciones citoplasmáticas más alargadas y finas que el protoplásmico. El núcleo presenta una escotadura en la que se observan gliofilamentos. Los encontramos en la sustancia blanca. También presenta un pie chupador o trompa de Achucarro y se tiñen también con técnicas de plata.
- **Oligodendrocitos:** células que se encuentran alrededor de las neuronas. Los que engloban a axones (interfasciculados, de la sustancia blanca), se encargan de formar la mielina en el SNC (un oligodendrocito rodea a varios axones). Tiene un núcleo redondeado con un citoplasma en el que aparecen todas las organelas.

Los que se sitúan al lado del soma se denomina oligodendrocito satélite neuronal, con función simbiótica. Se encuentra en la sustancia gris, se apoya sobre la neurona.

- **Microglía:** células muy pequeñas, con mayor densidad, que se tiñen con el carbonato de plata del Río Ortega. Su función es fagocitaria, se la considera el macrófago neuronal. Tiene origen mesodérmico (las anteriores tienen origen ectodérmico). En su citoplasma destacan los lisosomas y sus cuerpos residuales.
- **Ependimoglia:** células cúbicas alargadas que presentan cilios en su cara apical. En contraposición (cara basal) aparece una prolongación larga que puede llegar a la sustancia blanca o terminar en un vaso.

En el **SNP** solo tenemos:

- **Glía periférica:** formada por células de Schwann.
- **Glía ganglionar:**
 - Glía periosomática: célula que rodea a los somas neuronales.
 - Glía periaxónica: célula que rodea al axón.

Funciones de los astrocitos:

- Tejido de sostén entre neuronas
- Fagocitosis

- Microcirculación sanguínea a través de las prolongaciones que rodean al vaso.
- Función simbiótica: ayudan al mantenimiento y morfología normal de la neurona.
- Amortiguadores espaciales de potasio: mueven el potasio en el espacio extra neuronal.
- Síntesis de la glutaminsintetasa.
- Localización de receptores en la membrana de los astrocitos.
- En el citoplasma posee factores de crecimiento neuronal y complejos de histocompatibilidad mayores (HMC), por lo que otra función es la inmunidad.
- Formación de la cicatriz glial.

Barrera hematoencefálica: las arterias en el cerebro, cuyo diámetro es el mismo que las del resto del cuerpo, presentan una pared más delgada que las arterias del resto del cuerpo. Presentan unas células endoteliales diferentes a las del resto del cuerpo y están fuertemente unidas (gap junction) formando la barrera hematoencefálica. En las células endoteliales, en su parte basal, existe una mayor cantidad de bombas sodio potasio.

Se comporta según las leyes físicas de difusión, es permeable a algunas estructuras teniendo en cuenta el gradiente de osmolaridad, la presión hidrostática, las cargas eléctricas, la disociación, el tamaño de las moléculas, la solubilidad lipídica y el índice de captación cerebral.

El O₂ y el CO₂ atraviesan la barrera con difusión pasiva. Existe un transporte activo de aminoácidos y de glucosa.

Existe un transporte activo de aminoácidos y de glucosa.

Es también una barrera enzimática, existen enzimas que fagocitan sustancias provenientes del SN y productos de la sangre del torrente sanguíneo (neurotransmisores). Encontramos:

- MAO
- Glutamyltranspeptidasa
- DOPA descarboxilasa



Universidad de Valladolid



<https://www.researchgate.net/profile/Diego-Fernandez-Lazaro>



@fdezlazaro



@Fdezlazaro

Histología del Sistema Nervioso: Células, sinapsis y fibras nerviosas

Dr. Prof. Diego Fernández-Lázaro

diego.fernandez.lazaro@uva.es Tel: 975129185

Diego Fernández Lázaro

Índice:

- 1- Generalidades del tejido nervioso
- 2- Células del tejido nervioso
- 3- Sinapsis
- 4- Células de sostén
- 5- Fibras nerviosas
- 6- Otras estructuras del SNC

GENERALIDADES DEL TEJIDO NERVIOSO

El tejido nervioso es un tipo de tejido conjuntivo especializado. Es el tejido más diferenciado. Está constituido por neuronas, células gliales y vasos sanguíneos. Sus funciones principales son:

- Recepción de estímulos
- Transmisión de impulsos
- Control e integración de los órganos y los sistemas
- Reacción sensorial y motora del cuerpo
- Funciones intelectivas, como la memoria, el aprendizaje, emociones, etc.

ORIGEN DEL TEJIDO NERVIOSO

Según Cajal, es un tejido de origen ectodérmico, compuesto de corpúsculos muy diferenciados, estrellados y con largas expansiones ramificadas. Una de estas ramificaciones será más larga, de tal forma que pueda establecer una relación dinámica.

CÉLULAS DEL TEJIDO NERVIOSO

Las células del sistema nervioso se agrupan para formar dos estructuras: el sistema nervioso central que incluye el encéfalo y la médula espinal, y el sistema nervioso periférico, formado por ganglios, nervios y neuronas diseminados por el organismo.

En el sistema nervioso central hay zonas ricas en cuerpos celulares de neuronas y glía, y sus prolongaciones próximas, que se denomina generalmente sustancia gris, porque tienen un color gris en el tejido fresco, mientras que las zonas ricas en axones mielínicos, pero con pocos cuerpos celulares se denominan sustancia blanca. La sustancia blanca es una zona de tractos de fibras. En el encéfalo, la sustancia gris es normalmente superficial, mientras que en la médula espinal es al contrario.

En el sistema nervioso periférico, las neuronas pueden estar aisladas o agrupadas formando ganglios. Las prolongaciones de estas neuronas y los axones que provienen de las neuronas del sistema nervioso central (encéfalo y médula espinal) se agrupan para formar los nervios, unos haces de fibras nerviosas que corren por el cuerpo hasta sus lugares de destino.

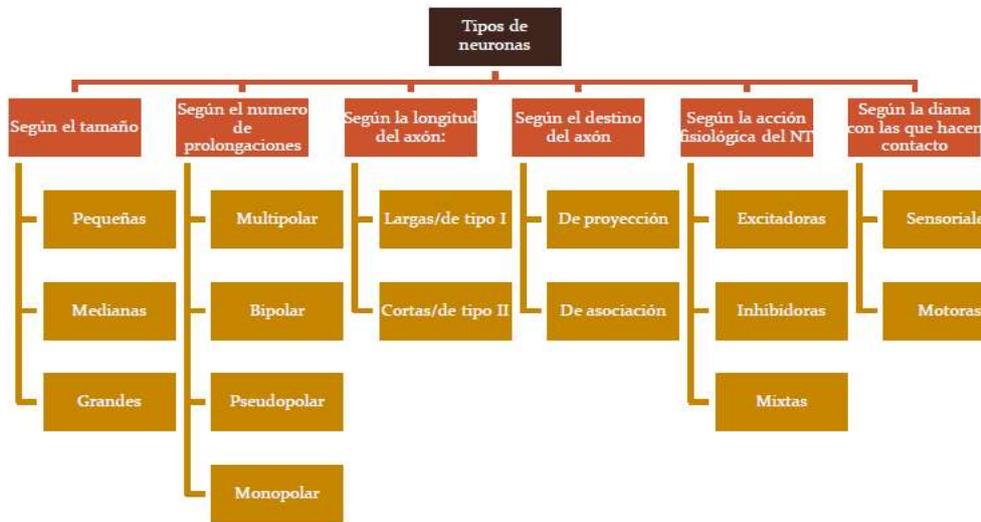
NEURONAS

Partes:

- **Cuerpo:** aspecto estrellado del que emergen múltiples prolongaciones. AKA soma o pericarion. En él, se encuentra el núcleo, el cual es grande, esférico, céntrico, se tiñe poco por tener cromatina dispersa, nucleolo prominente y único. En el nucleoplasma podemos encontrar neurofibrillas, la sustancia de Nissl (sust. cromatofílica), neurotúbulos e inclusiones. El citoplasma tiene un sistema vascular, AG, centriolos y sistema microtubular muy desarrollados.
- **Dendritas:** prolongaciones cortas y ramificadas, en las que encontramos mitocondrias, RE, vesículas, endosomas, microtúbulos, filamentos intermedios y filamentos de actina. Conducen el impulso nervioso en sentido celulipeto
- **Axón:** prolongación larga. AKA neurita, cilindroeje o filamento de Deiters. Los axones en ocasiones están recubiertos con una vaina de mielina, que no es continua, sino que tiene interrupciones, conocidas como nódulos de Ranvier

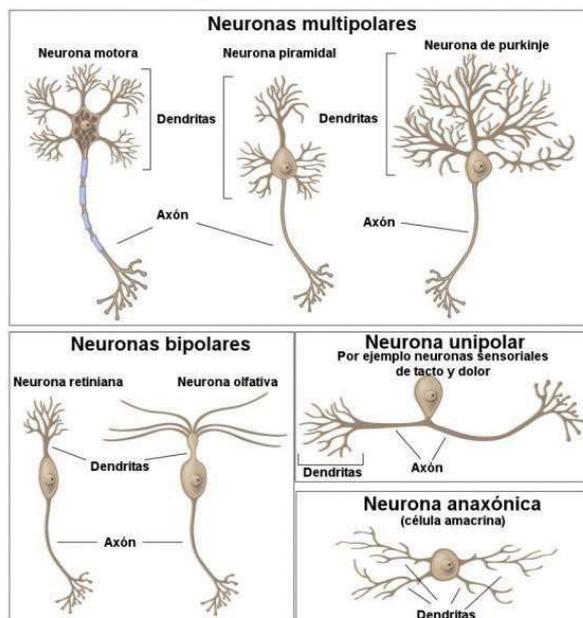
La membrana neuronal es una membrana plasmática cuyas propiedades vienen determinadas por proteínas en ellas contenidas. Esas proteínas pueden ser canales (Na^+ , K^+ , Cl^- y Ca^{2+}), bombas (de Na^+), receptores (acetilcolina, GABA, noradrenalina, etc.), enzimas (adeninciclasa), y estructurales.

Tipos de neuronas:



- **Según el tamaño:** pequeñas (en los granos del cerebro), medianas (SN) y grandes (motoneuronas de la médula espinal)
- **Según el número de prolongaciones:** multipolar, bipolar, pseudopolar, monopolar
- **Según la longitud del axón:** largas/de tipo I (son las motoneuronas) o cortas/de tipo II (en la corteza cerebral)
- **Según el destino del axón:** de proyección (se proyectan hacia el SNC, músculos y vísceras) o de asociación (el axón no sale del SNC y se relaciona con las células vecinas)
- **Según la acción fisiológica del NT:** excitadoras (ejercen un estímulo capaz de despolarizar a otras neuronas y transmitir el impulso), inhibidoras (producen un efecto hiperpolarizante al ser excitadas) o mixtas.
- **Según la diana con las que hacen contacto:** sensoriales primarias (captan estímulos en las zonas sensoriales) o motoneuronas (contactan con el músculo).

Tipos de neuronas



SINAPSIS

Las sinapsis son regiones o zonas en las que dos neuronas entran en contacto, una neurona será la presináptica y la otra la postsináptica. Los elementos que componen a la sinapsis son:

- **Elemento presináptico:** es el engrosamiento de un axón delimitado por el axolema. Dentro del axolema se encuentran los microtúbulos, microfilamentos, mitocondrias y vesículas con los NT.
- **Hendidura sináptica:** es el espacio entre el elemento presináptico y el postsináptico.
- **Elemento postsináptico:** es la membrana de la neurona postsináptica. En ella hay proteínas de membrana con las que se acopla el mediador químico generando un nuevo potencial de acción.

Hay dos tipos de sinapsis: químicas y eléctricas (** suele preguntar la sinapsis química del músculo)

SINAPSIS QUÍMICA

La sinapsis química puede ser:

1. **Según la estructura:**
 - Axosomática
 - Axodendrítica
 - Axoaxónica
 - Neuromuscular
 - Axoespinodendrítica
 - Dendodendrítica
2. **Según el modo de contacto sináptico:**
 - De paso: un axón contacta con una dendrita
 - Terminal: el axón termina en el contacto sináptico
3. **Ultraestructuralmente:**
 - Tipo I o asimétrica: contiene vesículas redondas y la membrana post tiene un engrosamiento
 - Tipo II o simétrica: contiene vesículas ovales y membranas pre y post tienen = espesor.
4. **Según el NT que contenga en su interior:**
 - Colinérgicas: utilizan Ach
 - Noradrenérgicas: noradrenalina
 - Dopaminérgicas: dopamina
 - Gabaérgicas: GABA
 - Serotoninérgicas: serotonina
 - Glutaminérgicas: glutamina

5. **Según su fisiología:**

- Excitadoras: si crean un potencial de acción en el elemento post
- Inhibidoras: si producen una hiperpolarización del elemento post

El proceso de sinapsis química comienza tras la síntesis del mediador. Cada neurona sintetiza un tipo de transmisor, el cual es almacenado en vesículas. Tras la llegada de un impulso eléctrico se abren los canales de Ca^{2+} . El aumento de calcio dentro de la neurona hace que las vesículas fusionen sus membranas con las del botón presináptico, liberando su contenido a la hendidura sináptica. Los NT viajan a la membrana postsináptica, donde serán destruidos.

SINAPSIS ELÉCTRICA

Las sinapsis eléctricas son uniones en hendiduras que se establecen entre dos neuronas contiguas a través de conexiones. Esas conexiones permiten la comunicación entre los citoplasmas de ambas neuronas.

A través de las conexiones, se difunden iones que despolarizan la membrana. De esta forma, se puede transmitir casi instantáneamente y sin la necesidad de NT. Son mucho menos frecuentes que las químicas.

SINAPSIS ESPECIALES.

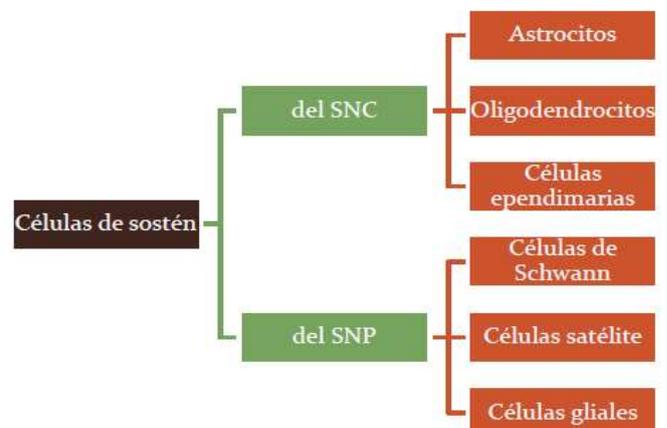
- **Sinapsis axoespinodendrítica:** las neuronas piramidales de la corteza cerebral, las células de Purkinje y otros tipos de neuronas poseen gran número de espinas en sus dendritas. Cada una de estas espinas realiza la sinapsis con dos o más botones.
- **Sinapsis en las laminillas y bastón:** es propia de las células nerviosas de la retina. Los conos y los bastones emiten una prolongación axónica para contactar con otras neuronas que constituyen el elemento postsináptico. Los botoncitos sinápticos se hallan en células sensitivas del órgano.

CÉLULAS DE SOSTÉN

Las células de sostén son un tipo de células del SN que, como su propio nombre indica, sirven de sostén. Esto se debe a la carencia de tejido conjuntivo en el SN. Estas células pertenecen a la neuroglia. La neuroglia no presenta características de células nerviosas, es decir, no

ASTROCITOS

Presentan forma estrellada, con un cuerpo celular con numerosas prolongaciones.



Su núcleo es grande y eucromático. En el citoplasma hay RER, complejo de Golgi, pocas

mitocondrias y lisosomas. En su citoesqueleto destacan los filamentos intermedios.

Los astrocitos se unen unos a otros mediante uniones GAP.

Hay dos tipos de astrocitos: **astrocitos protoplásmicos** (muchas y gruesas prolongaciones, se encuentran en la sustancia grises), y **astrocitos fibrosos** (pocas y finas prolongaciones, se encuentran en la sustancia blanca). Hay un tipo especial de astrocitos, que son **la glía de Bergmann** (en el cerebelo), las **células de Miller** (retina)... Funciones de los astrocitos:

- **Función de sostén.** El conjunto de los astrocitos se dispone como un armazón, unidos unos a otros por uniones adherentes alrededor de las neuronas y los vasos capilares.
- **Función de reparación de los tejidos.** En el caso de lesión cerebral, la zona lesionada es sustituida por tejido de cicatrización constituido por la proliferación de los astrocitos.
- **Función de fagocitosis.** Las enzimas que poseen permiten digerir los fragmentos de neuronas lesionadas o muertas.
- **Función de aislamiento.** Recubren las membranas plasmáticas presinápticas ayudando a la dispersión del impulso nervioso.
- **Función nutritiva.** Captan sustancias desde la sangre hasta el SNC, ejerciendo una función de selección de dichas sustancias, actuando de intermediario entre la sangre y las neuronas.
- **Función protectora entre el medio externo y el tejido nervioso.** Forman una envoltura en todo el SNC (astrocitos marginales).

OLIGODENDROCITOS

Poseen pocas prolongaciones. Se tiñen con el carbonato de palta de Río Hortega o el método de Golgi. Se pueden distinguir distintos tipos según su localización:

- **Satélites perineuronales:** en la sustancia gris, rodeando las neuronas, pero sin formar vainas de mielina. Son poco abundantes.
- **Interfasciculares:** se encuentran entre fascículos que forman grupos de axones, y por tanto la sustancia blanca y las vainas de mielina

Otra forma de clasificarlos es según la densidad de su hialoplasma, de tal forma que los menos densos son los menos diferenciados. Su función principal es la formación de las vainas de mielina.

CÉLULAS EPENDIMARIAS

Las células ependimarias son las que forman el epéndimo. El epéndimo es la membrana delgada que reviste los espacios llenos de líquido del cerebro y la médula espinal. Este tipo de célula glial permite que el líquido cefalorraquídeo circule por nuestro cuerpo. Hay 3 tipos

de células endoteliales:

- **Ependimocitos:** revisten los ventrículos del encéfalo y el conducto central de la medula espinal, y están en contacto con el líquido cefalorraquídeo. En su parte apical tienen cilios.
- **Tanicitos:** revisten el piso del tercer ventrículo por encima de la eminencia media del hipotálamo. Poseen prolongaciones en la parte basal. Transportan sustancias químicas desde el LCR al sistema portal hipofisiario
- **Células epiteliales coroideas:** revisten las superficies de los plexos coroideos. Participan en la producción y la secreción del LCR desde los plexos coroideos.

CÉLULAS DE SCHWANN

Son las células que forman los recubrimientos mielinizados y no mielinizados del SNP. Envuelven a los axones formando una lámina de mielina y sustentan a las fibras nerviosas.

CÉLULAS SATÉLITE

También se llaman capsulares. Rodean las células ganglionares para protegerlas y nutrir las. Proporcionan aislamiento eléctrico y vía de intercambio metabólico.

CÉLULAS DE LA GLÍA

Son células auxiliares que protegen y llevan nutrientes a las neuronas. Forman tejidos de sostén en los centros nerviosos. Son células pequeñas, con un núcleo grande en proporción, citoplasma escaso y origen mesodérmico. Se utiliza la tinción de carbonato de plata de Rio Hortega. Hay dos tipos:

- **Microglía residente:** está en el tejido nervioso, pero aún no está activa (no realiza fagocitosis)
- **Microglía reactiva:** realiza fagocitosis.

RESUMEN

DENO	ESTRUCTURA	LOC	FUNCIÓN
Astrocitos fibrosos	Cuerpos celulares pequeños, prolongaciones largas y delgadas, filamentos citoplasmáticos, pies	Sustancia blanca	Proporcionan un marco de sostén, son aislantes eléctricos, limitan la diseminación de los neurotransmisores, captan iones de K ⁺ ,
Protoplasmáticos	Cuerpos celulares pequeños, prolongaciones cortas	Sustancia gris	

Oligodendrocitos	Cuerpos celulares pequeños, pocas prolongaciones, no filamentos citoplasmáticos	En hileras a lo largo de los nervios mielínicos, rodeando a los cuerpos de las	Forman la mielina en el SNC, influyen en la bioquímica de las neuronas
Microglía	Células neurogliales más pequeñas	Dispersas por el SNC	Son inactivos en el SNC normal, proliferan en la enfermedad y la
Ependimocitos	De forma cuboidea o cilíndrica, con cilios y microvellosidades,	Revisten ventrículos	Circulan el LCR y lo absorben
Tanicitos	Prolongaciones basales largas, con pies terminales sobre	Revisten el piso del tercer ventrículo	Transportan sustancias desde el LCR hasta el sistema
Células epiteliales coroideas	Lados y bases que forman pliegues, uniones	Cubren sup de plexos coroides	Producen y secretan LCR

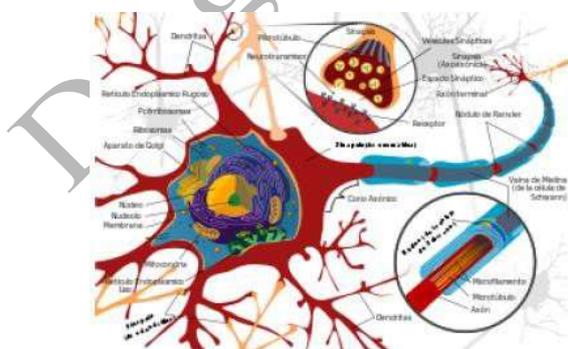
LAS FIBRAS NERVIOSAS

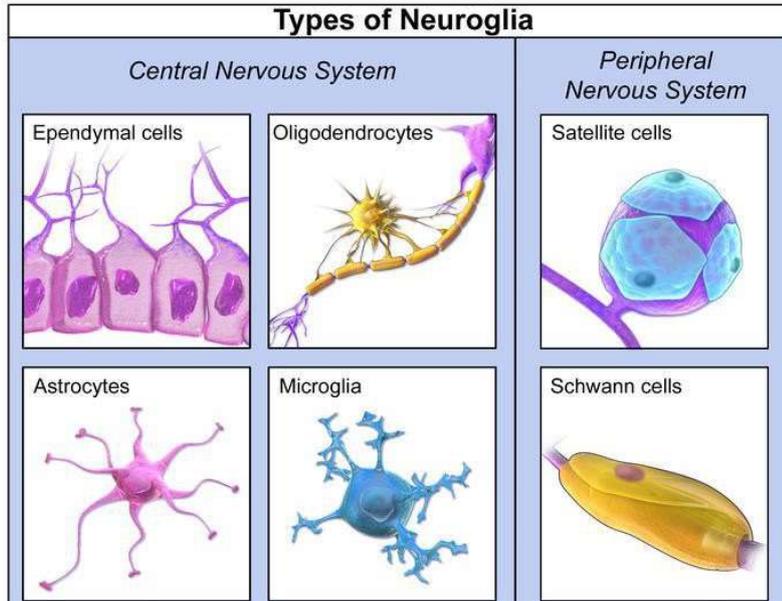
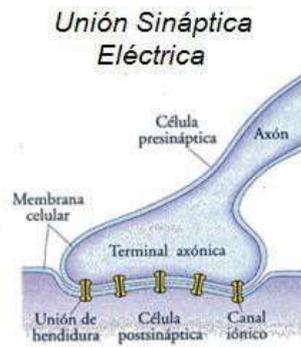
Las fibras nerviosas es la porción del axón comprendida entre el cono del arranque y el puto donde se inicia la ramificación terminar o telodendrón.

CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS NERVIOSAS

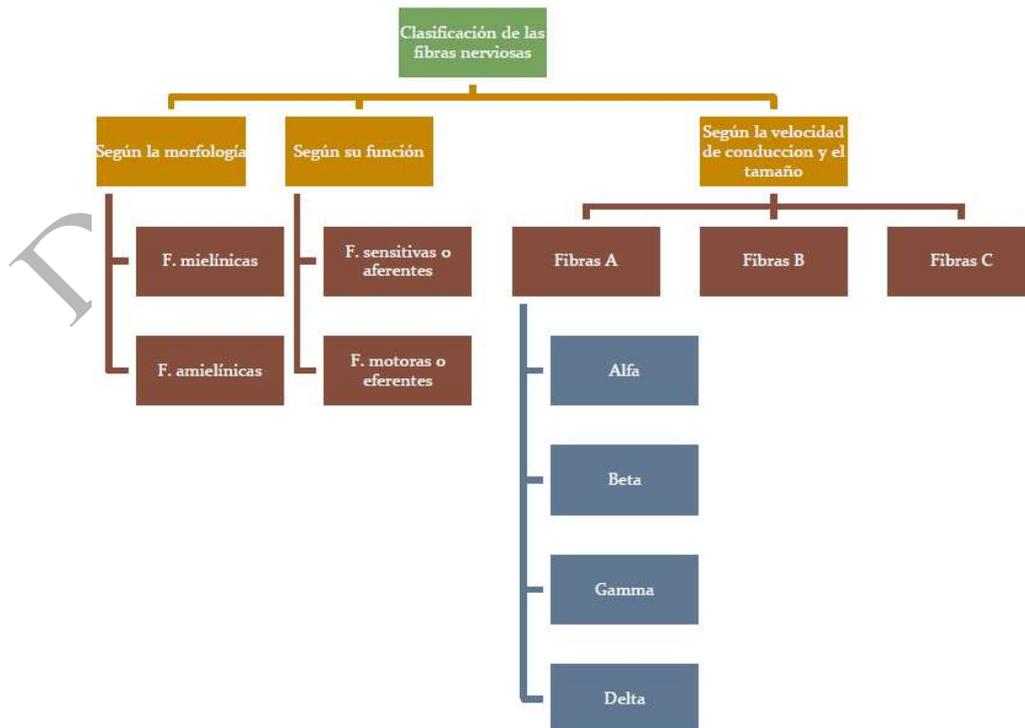
Las fibras nerviosas se pueden clasificar de distintas formas:

- Según su morfología
- Según su función
- Según la velocidad de conducción y el tamaño





FIBRAS NERVIOSAS SEGÚN LA MORFOLOGÍA



FIBRAS MIELÍNICAS

Es de color blanco, por lo que la asociación de numerosas fibras de este tipo da lugar a la sustancia blanca del SNC y SNP. Cada fibra está compuesta por un solo axón. Se distinguen dos tipos:

1. **Fibras nerviosas mielínicas con vaina de Schwann:** Estas fibras están formadas por 3 capas:
 - **Vaina de mielina:** se forma por el enrollamiento de la membrana de la célula de Schwann. Tiene color anacarado. Se tiñe con tetraóxido de osmio. En el SNP presenta interrupciones, conocidas como nódulos de Ranvier. En el SNC no hay células de Schwann y la mielina se forma en los oligodendrocitos. Su composición en el SNC se basa en lípidos (colesterol, fosfolípidos y glucolípidos), y proteínas (proteína básica de la mielina, proteolítico, glicoproteínas y enzimas). Su composición en el SNP también es lipídico y proteico.
 - **Vaina de Schwann:** es una fina película de citoplasma que recubre la mielina. Entra en contacto con el axón a nivel de los nódulos.
 - **Vaina de Henle:** constituida por una membrana basal. Recubre por completo a la vaina de Schwann. Está formada por fibrillas conjuntivas muy finas.
2. **Fibras nerviosas mielínicas sin vaina de Schwann:** se diferencian de las que tienen vaina por:
 - Ausencia de la membrana basal
 - Envoltura de la vaina de mielina más gruesa
 - Mayor frecuencia y largura de los nódulos de Ranvier
 - Poco citoplasma neuróglia

Sin embargo, tienen elementos en común con las que sí tienen esa vaina, como por ejemplo que ambas poseen nódulos de Ranvier, y que, en ambas, en las zonas paranodales, las líneas densas mayores se desdoblán para delimitar una zona de citoplasma.

FIBRAS AMIELÍNICAS

Son fibras carentes de vaina lipídica El axón neuronal discurre dentro del citoplasma de la célula de Schwann, rodeado por la membrana plasmática. Esto da lugar al mesoaxón, una zona donde contactan las dos membranas de la célula de Schwann. Cada célula de Schwann envuelve, sin formar mielina, varios axones. Cada axón se encuentra rodeado por la membrana de la célula de Schwann y posee un mesoaxón. Se distinguen dos tipos diferentes de estas fibras:

1. **Fibras nerviosas amielínicas con vaina de Schwann:** están constituidas por un fascículo de finos cilindros contenidos dentro de una vaina común que es la

Vaina	
Mielina	Sin mielina
• SNC- Oligodendrocito	• SNC- Sin vaina
• SNP- Célula de Schwann	• SNP- Célula de Schwann

sucesión ininterrumpida de las células de Schwann. Cada una de estas células envuelve uno o varios axones en una o varias depresiones longitudinales, dejando al mesoaxón comunicando con la periferia y limitado por las membranas de Schwann. Cada célula de Schwann se relaciona con las células de Schwann vecinas, la lámina basal y el axón. De esta forma, el axón nunca queda desprovisto de vaina. Se suelen localizar en los ganglios simpáticos del SN Autónomo y en las prolongaciones de las células ganglionares espinales.

2. **Fibras nerviosas amielínicas sin vaina de Schwann:** son fibras nerviosas sin ningún tipo de vaina. Se encuentran en la arborización terminal del axón. Estas fibras discurren por la sustancia gris del encéfalo y la medula espinal

FIBRAS NERVIOSAS SEGÚN LA VELOCIDAD DE CONDUCCIÓN Y EL TAMAÑO

TIPO DE FIBRA		V CONDUCCIÓN	FUNCIÓN
Tipo A: Mielinizadas	1-20	15-120	<ul style="list-style-type: none"> • Dolor agudo • Temperatura • Tacto • Presión • Fibras somáticas
Tipo B: - mielinizadas	1-3	3-15	<ul style="list-style-type: none"> • Viscerales aferentes • Preganglionares autónomas
Tipo C: No mielinizadas	0,5-1,5	0,5-2	<ul style="list-style-type: none"> • Autónomas posganglionares • Dolor crónico

MIELINIZACIÓN

La mielinización es el proceso de recubrir los axones una sustancia llamada mielina o vaina de mielina. La mielina o la vaina de mielina tienen distintas funciones:

- Aumentar la velocidad de conducción del impulso nervioso
- Nutrir al axón
- Protege a la neurona

El proceso de mielinización dura desde las 25 semanas de gestación hasta los 20 años de edad. Proceso:

- 1) Comienza con la invaginación de un axón en la superficie de la célula de Schwann, de manera que el axolema se adosa estrechamente a la membrana plasmática de la cdSch.
- 2) Se produce el crecimiento en espiral del citoplasma de la cdSch, lo cual provoca

- el crecimiento del mesoaxón
- 3) Se fusionan las caras extracelulares de la célula de Schwann, de tal forma que se genera la línea interperiódica. Se desplaza el citoplasma y se fusionan las caras intercelulares de la membrana de la célula de Schwann, formándose las líneas periódicas.
 - 4) El resultado de este proceso de invaginación, expresión citoplasmática y fusión de membranas es la vaina de mielina. En el SNC, un oligodendrocito realiza un proceso similar.

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (SNC)

El SNC es la parte del sistema nervioso que está formada por el encéfalo y la ME. Está cubierto por las meninges, que son una capa de tejido conectivo. Está formado por tres capas y tres espacios

- Duramadre
- Espacio subdural
- Aracnoides
- E. subaracnoideo
- Piamadre
- E. epidural

DURAMADRE

Es la lámina más externa y gruesa. Es tejido conjuntivo denso y colágenos. Está formada por dos capas sobrepuestas:

- **Duramadre perióstica:** formada con células oste progenitoras, fibroblastos y haces de colágeno insertados en la superficie y la base del cráneo
- **Duramadre menígea:** se forma con fibroblastos. Tiene vasos sanguíneos pequeños.

ESPACIO SUBDURAL

Es un espacio entre la duramadre y la aracnoides. Es un espacio potencial. Solo aparece como consecuencia de una lesión que origine hemorragia subdural. La sangre separa estas capas.

ARACNOIDES

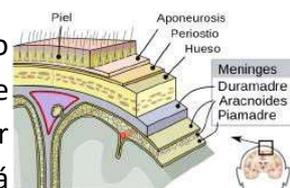
Es una lámina delicada de tejido conectivo. Es la cubierta intermedia. Es avascular. Está compuesta por fibroblastos, colágeno y fibras elásticas.

ESPACIO SUBARACNOIDEO

Es el espacio entre la aracnoides y la piamadre

PIAMADRE

Es una capa delicada que está en contacto directo con el encéfalo y la médula espinal. Es la cubierta interna. Es muy vascularizada. Se relaciona estrechamente con el tejido cerebral. Está constituida por una capa delgada de fibroblastos modificados y aplanados. Está



separada del tejido neural por células neurogliales.

OTRAS ESTRUCTURAS DEL SNC

GANGLIOS

Los ganglios son acumulaciones de cuerpos de células nerviosas fuera del SNC. Hay dos tipos:

- **Ganglios cefalorraquídeos o cerebrospinales:** contienen los cuerpos de las neuronas aferentes. Están rodeados por tejido conectivo. Cada célula ganglionar puede estar rodeada de una capa de células satélite. Los cuerpos de las células nerviosas no reciben sinapsis ya que los ganglios son un cúmulo de cuerpos de células en T, cuya dendrita recoge sensibilidad y la envía a la médula espinal. Poseen neuronas pseudopolares
- **Ganglios del SN Autónomo:** está rodeado por células satélite. En el ganglio se realizan muchas sinapsis porque a él llegan fibras preganglionares, con una vaina de mielina delgada, hacen sinapsis y conducen impulsos motores y sensoriales. Poseen neuronas multipolares.

NERVIOS PERIFÉRICOS

Son fibras nerviosas asociadas en fascículos. Estos fascículos están unidos a su vez por tejido conjuntivo. El tejido conjuntivo forma tres capas:

- **Epineurio:** es la capa más externa. Está constituida por células de tejido conectivo y fibras de colágeno dispuestas longitudinalmente. También se pueden encontrar algunas células adiposas.
- **Perineurio:** envuelve a cada uno de los fascículos más pequeños de un nervio
- **Endoneurio:** es la capa más interna, y está formada por tejido conectivo laxo, formado por unos fascículos de fibras colágenas dispuestas longitudinalmente junto con fibroblastos.

Hay distintos tipos de nervios:

- **Nervios sensitivos:** solo poseen fibras de sensibilidad aferentes
- **Nervios motores:** formados solo por fibras que transmiten el mensaje de los centros a los efectores
- **Nervios mixtos**



Universidad de Valladolid



<https://www.researchgate.net/profile/Diego-Fernandez-Lazaro>



@fdezlazaro



@Fdezlazaro

Histología del Sistema Nervioso:

Generalidades, estructura histológica, neuronas, neuroglia, organización del SNC y SNA, nervios periféricos, neurotransmisores, receptores sensitivos.

Dr. Prof. Diego Fernández-Lázaro

diego.fernandez.lazaro@uva.es Tel: 975129185

Diego Fernández Lázaro

Índice

- 1- Generalidades
- 2- Estructura histológica general del Sistema Nervioso
- 3- Neuronas
- 4- Neuroglía
- 5- Organización del Sistema Nervioso Central
- 6- Nervios periféricos
- 7- Organización del Sistema Nervioso Autónomo
- 8- Neurotransmisores
- 9- Receptores sensitivos

1. Generalidades

El tejido nervioso se compone de una asociación de células nerviosas llamadas **neuronas** (unidad funcional de este tejido) y de células de sostén de varios tipos llamadas **células gliales**. El tejido nervioso se agrupa con otros tejidos y estructuras (conectivo, vasos sanguíneos, etc.) para formar el sistema nervioso (SN), el cual permite que el organismo responda a los cambios continuos del medio externo e interno, controlando e integrando las funciones de los órganos y aparatos.

Teniendo en cuenta aspectos anatómicos, el SN se divide en:

- **Sistema Nervioso Central (SNC)**, conformado por la **médula espinal** y una porción ántero-espinal que corresponde al **encéfalo** (hemisferios telencefálicos,

diencefalo, mesencefalo, cerebelo, protuberancia y bulbo raquídeo). El encéfalo y la médula espinal están contenidos y resguardados respectivamente, en la cavidad craneana y el conducto vertebral.

- **Sistema Nervioso Periférico (SNP)**, compuesto por 1) **nervios** craneanos, raquídeos y periféricos que conducen impulsos desde el SNC (nervios eferentes o motores) y hacia éste (nervios aferentes o sensitivos), 2) conjuntos de cuerpos neuronales fuera del SNC llamados **ganglios** y 3) **terminaciones nerviosas** especializadas (tanto motoras como sensitivas).

Considerando el aspecto funcional, el SN se clasifica en:

- **Sistema Nervioso Somático (SNS) o de la vida de relación**, (del griego *soma*, cuerpo) que consiste en los cuerpos neuronales del SNC y el SNP, que proveen inervación motora y sensitiva a todo el organismo excepto a las vísceras, el músculo liso y las glándulas.
- **Sistema Nervioso Autónomo (SNA) o vegetativo**, formados por las partes autónomas del SNC y el SNP. Provee información eferente motora involuntaria al músculo liso, al sistema de conducción del corazón y a las glándulas. También provee inervación aferente sensitiva desde las vísceras (dolor y reflejo autónomo). El SNA se subclasifica en una división **Simpática** y una división **Parasimpática**. Existe una tercera división según algunos autores que comprende al **SN Entérico**.

2. Estructura histológica general del Sistema Nervioso

Tal como se mencionó previamente, el parénquima del tejido nervioso está formado por neuronas y células gliales. Las células gliales constituyen un sistema de células de origen neural con características especiales según la función y ubicación. En general, todas ellas se destinan al mantenimiento de las neuronas: alimentación, protección y soporte. Las células gliales o de la **neuroglía** tienen un soma o cuerpo celular en donde se encuentra la mayoría de los organoides, el núcleo y numerosas y variadas proyecciones citoplasmáticas. Estas proyecciones, junto con las prolongaciones neuronales forman una “red” que se sostiene a sí misma y a los somas: el **neurópilo**.

Además de la glía de origen neural o **macroglía**, se encuentra la **microglía** que está formada por células que provienen embriológicamente de los monocitos sanguíneos; es decir, células con actividad fagocítica que se mantienen en general quiescentes dentro del tejido nervioso.

Las neuronas son células de morfología variada dependiendo de la función y de la región del SN en la que se encuentren. Una vez que el desarrollo perinatal finaliza, se transforman en células con incapacidad para multiplicarse. Esto significa a la vez, que son células altamente especializadas. En efecto tienen la capacidad de la **irritabilidad** o **excitabilidad** muy desarrollada y también la de la **conducción de impulsos** que se transmiten hacia otras células cercanas o lejanas a través de sus prolongaciones. La excitación de la neurona implica un cambio en la carga eléctrica a través de la membrana plasmática. Este cambio se manifiesta como un flujo iónico a través de canales proteicos incluidos en la membrana (canales dependientes de voltaje). Una vez que se produce la excitación “de entrada”, se **conduce** el impulso (flujo iónico) hacia el otro extremo de la célula que suele ser el axón o proyección principal de la neurona. Si la excitación ha sido suficientemente fuerte o si varios impulsos se han sumado, la resultante es una onda de excitación o **impulso eléctrico** que en la región terminal se traduce en la secreción de un producto neuroquímico llamado **neurotransmisor** (transmisión química). Así, un impulso eléctrico se ha transformado en un impulso químico

que tiene como fin *excitar* o *inhibir* a la siguiente célula de la cadena. Esta célula contigua puede ser otra neurona, una célula epitelial, una célula muscular, la pared de un vaso sanguíneo, etc. y se denominan, en general, células blanco. La zona de contacto entre la neurona y la célula blanco se denomina *sinapsis*. Por lo tanto, la neurona tendrá un *terminal sináptico* con una *membrana presináptica* separada de la *célula blanco* y su *membrana postsináptica*, por la *hendidura sináptica*.

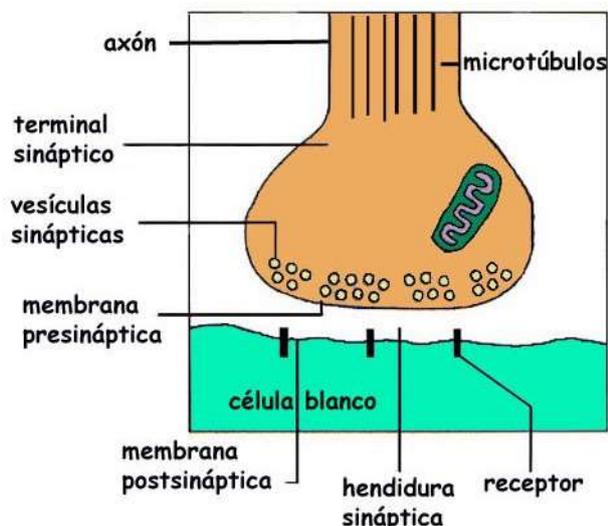


Figura 1. Esquema general de una terminal sináptica.

Las sinapsis pueden ser excitadoras o inhibitorias y esto depende de la acción que un neurotransmisor determinado ejerza sobre la membrana postsináptica: algunos neurotransmisores son capaces de lograr la apertura de los canales de cloro dependientes del voltaje y otros abren los canales de sodio. En el primer caso, el resultado será el ingreso del ión Cl^- dentro de la célula y su negativización interna traerá como consecuencia una **hiperpolarización** de la membrana, que hará que ésta se presente inhibida. En el segundo caso, la entrada de Na^+ logrará la **despolarización** y se generará un potencial de membrana que podrá (si es suficientemente grande) lograr la excitación en la segunda célula. Para que se logre la conducción del impulso es necesario que exista una diferencia de potencial suficientemente grande que se conoce como **potencial umbral**. Si la diferencia de potencial entre el interior y el exterior de la membrana es igual o mayor que el umbral, el potencial generado se transforma en un **potencial de acción** que se proyectará por toda la célula afectada. Lo que se pretende obtener es una respuesta rápida en un lapso de tiempo muy corto (menor a milisegundos). Como ejemplo vale el llamado *reflejo pupilar*: cuando se ilumina con una fuente de luz intensa el ojo de un animal se obtiene como respuesta inmediata el cierre de la pupila. Sin embargo, para lograr que esto ocurra se deben utilizar más de dos células: una receptora de la luz, una neurona ganglionar, una neurona resolutive en el SN central, otra motriz y al fin una acción general sobre las células musculares del iris. Este ejemplo da clara idea de la velocidad de transmisión del impulso nervioso en un reflejo relativamente simple.

El SN resuelve sobre la actividad o no del organismo por medio de la transmisión de la excitabilidad o la inhibición, algo parecido a lo que ocurre con el tejido endócrino. La diferencia estriba en que el tejido endócrino, íntimamente relacionado con el SN, funciona a través de la secreción de sustancias químicas muy parecidas a los neurotransmisores pero que viajan por el sistema vascular. Por ello, su acción es siempre más lenta pero con el beneficio del mantenimiento de la acción en un tiempo mayor que el propio del tejido nervioso.

3. Neuronas

Las células nerviosas o neuronas son células de morfología y tamaño variable, que cuentan con un **cuerpo** o **soma** y **prolongaciones** de longitudes variables. Algunas neuronas tienen forma de estrella, otras son fusiformes o esféricas. El soma neuronal contiene el núcleo y las organelas que mantienen la célula. El núcleo suele ser grande y presenta en general cromatina laxa, un neucleólo muy prominente y citoplasma perinuclear abundante. Las organelas son las características de una célula sintetizadora de proteínas: cuantioso retículo endoplásmico rugoso, ribosomas libres y también mitocondrias, Golgi prominente, lisosomas, microtúbulos, neurofilamentos (filamentos intermedios que captan las sales de metales pesados de la tinción por impregnación metálica), vesículas de transporte e inclusiones. El retículo endoplásmico rugoso y los ribosomas aparecen al microscopio como pequeñas granulaciones, los **corpúsculos de Nissl**, que se tiñen intensamente con los colorantes básicos (hematoxilina) y metacromáticos (azul de toluidina). Las numerosas prolongaciones citoplasmáticas que surgen desde el soma se clasifican en:

- **dendritas**, numerosas proyecciones ramificadas cortas que nacen alrededor del soma y transmiten impulsos desde la periferia hacia el soma neuronal. No están mielinizadas.
- **axón**, una proyección única, larga y recta, que emerge de un “cono” citoplasmático o *cono axónico* y cuya función es la de transmitir los impulsos desde el soma hacia la sinapsis. En el extremo final del axón se hallan los *terminales sinápticos* representados por una serie de cortas ramificaciones finales que constituyen el *teledendrón*. En el recorrido, un axón puede emitir una ramificación perpendicular al eje principal.

Los corpúsculos de Nissl se extienden dentro de las dendritas, pero no dentro del axón. Por lo tanto, dado que ambos tipos de prolongaciones no se distinguen morfológicamente, la región del cono axónico que carece de estas organelas es útil para determinar la ubicación del axón tanto con el microscopio óptico como con el electrónico.

Las sustancias necesarias en el axón se sintetizan, como ya se mencionó, en el soma neuronal y luego, son transportadas hacia el teledendrón. Para ello, las neuronas cuentan con un sistema de transporte axónico: un mecanismo bidireccional por el cual circulan vesículas llenas o vacías a lo largo de los microtúbulos y los neurofilamentos desde el soma al teledendrón y viceversa.

Las neuronas que tienen aspecto estrellado son denominadas **multipolares**. Algunas células tienen una sola ramificación dendrítica y otra axonal: son las neuronas **bipolares** con un soma esférico pequeño. Las células **pseudomonopolares** son similares a las bipolares, solo que la rotación de la dendrita y el axón las hace confluir en un solo cono axónico desde donde emergen hacia un lado el axón y hacia el otro, la dendrita. Otras neuronas son de morfología especial, como por ejemplo las células de Purkinje del cerebelo o células en candelabro, con un soma piriforme y numerosas dendritas dirigidas hacia la superficie cerebelosa. Otras neuronas se denominan piramidales, moleculares, fusiformes, granulares, etc.

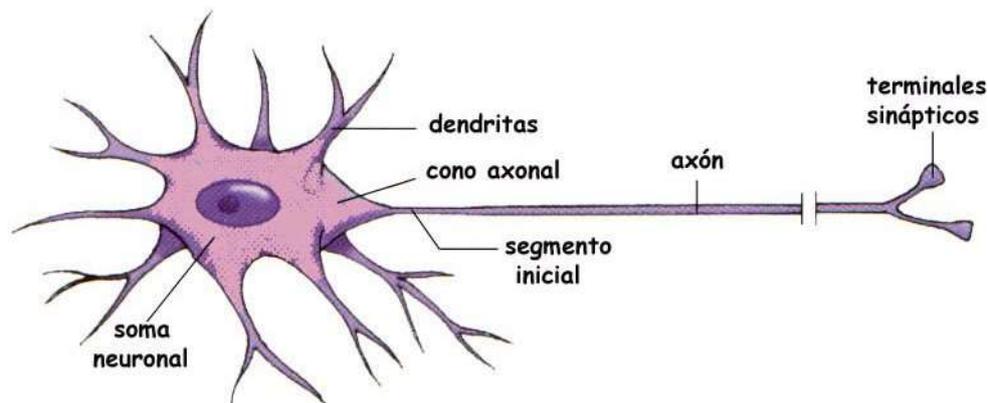


Figura 2. Estructura general de una neurona multipolar (motora).

Según la función, las neuronas pueden ser:

- **Motoras**, son las neuronas multipolares que reciben la información como impulsos que ingresan desde diversas regiones por las dendritas y aún el soma y emiten la información hacia las glándulas, músculos y otros efectores por vía del axón que constituyen así, una fibra eferente.
- **Sensitivas**, se ubican en el SNP, a nivel de los ganglios raquídeos y emiten una proyección larga con todo el aspecto de un axón. Este axón es en realidad una vía aferente, que trae hacia el ganglio información proveniente de la periferia (receptores ubicados en los órganos de los sentidos, fibras desnudas en los epitelios, etc.). La información corresponde a sensaciones de dolor, temperatura, tacto y presión entre otras. Del ganglio, la proyección corta ingresa a la médula espinal o al encéfalo en donde se produce la elaboración de la respuesta a través de una neurona motora. Las neuronas sensitivas son morfológicamente **seudomonopolares**. Otras neuronas ubicadas en las redes sensitivas se presentan en el SNC y son resolutorias en cuanto a que reciben la información, la procesan y determinan la vía de salida. Estas neuronas se encuentran en grupos o asociaciones denominadas núcleos grises, ubicados por debajo de la corteza cerebral, en el diencefalo o en la base del cerebro y cerebelo.
- **Interneuronas**, o neuronas internunciales, son neuronas pequeñas **bipolares** ubicadas en medio de una red neuronal, tal como si fueran “estaciones de relevo” de una vía. Se las encuentra en todo el SNC comunicando neuronas sensitivas y motoras.

En el SNP, algunas neuronas son pequeñas y estrelladas y otras son grandes células esféricas con un axón corto. Las neuronas de éste sistema se presentan en los **ganglios**: estos pueden ser los **raquídeos** (a la salida de la columna vertebral), los **paravertebrales** del SNA simpático y los **intramurales** correspondientes al SNA parasimpático que se encuentran en las paredes viscerales. En los ganglios, las neuronas van acompañadas por células gliales que se denominan **satélites**. Alrededor de todo el tejido nervioso periférico se encuentran cápsulas de tejido conectivo de grosor variable según la proporción de tejido parenquimatoso presente y la irrigación que necesita (el conectivo actúa en el SNP como un estroma para las células nerviosas).

4. Neuroglía

En el SNC las células de la **macroglía** son los **astrocitos**, los **oligodendrocitos** y las **células endimarias**.

Los **astrocitos** son células nodrizas para las neuronas y por lo tanto se encuentran rodeándolas completamente. Las que rodean al soma neuronal (en la sustancia gris) se denominan **astrocitos protoplasmáticos** y las que se ocupan de los procesos dendríticos y axonales (en la sustancia blanca) son los **astrocitos fibrosos**. En los dos tipos de astrocitos se verifica una constante: las células gliales se interponen entre las neuronas y los capilares sanguíneos (que ingresan con la piamadre) y entre ellas y el epitelio endimario (ver luego). Para ello, los astrocitos tienen prolongaciones cuyos extremos se expanden para formar pies terminales que cubren grandes porciones de la superficie externa del vaso o de la membrana del axón. De esta forma, el tejido se asegura de que antes de que llegue cualquier elemento (bueno o malo) a una neurona, atravesase una célula glial. Los astrocitos se encargan también de eliminar los restos de neurotransmisores secretados en la sinapsis o de sus metabolitos y de mantener el microambiente de las neuronas.

La **oligodendroglía** está compuesta por células dedicadas a formar vainas protectoras para los axones que circulan por el neurópilo, enroscándose o permitiendo que los axones se “autoenvuelvan” en cavéolas dentro de los oligodendrocitos o en sus proyecciones radiales. Estas células son por lo tanto las encargadas de formar la vaina de mielina a los axones que transcurren por el SNC.

Un grupo especial de la glía está formado por el epitelio neural que rodea todas las cavidades internas del SNC: el **epitelio endimario**. Está constituido por células cúbicas con una superficie apical cubierta de microvellosidades y cilias, paredes laterales con uniones ocluyentes y un largo proceso basal que se introduce en el neurópilo. En varios sitios del sistema ventricular encefálico, tal como en los ventrículos laterales (uno en cada hemisferio), el epitelio endimario está modificado y se encarga de la producción del **líquido céfalo-raquídeo** filtrado desde los vasos sanguíneos. Las células endimarias modificadas y los capilares asociados forman en conjunto los llamados **plexos coroideos**.

La **microglía** se compone de células pequeñas con muchas prolongaciones que permanecen en el estroma nervioso sin ejercer funciones hasta que se desarrolla algún proceso infeccioso o inflamatorio. En esos casos, la microglía se activa y comienza a actuar por medio de la fagocitosis, tal como lo haría un monocito al transformarse en macrófago. En esta situación, la microglía activada no suele ser demasiado selectiva, por lo que algunas células sanas pueden ser eliminadas por estar en el área lesionada y perjudicar de ésta manera la sobrevivencia del tejido.

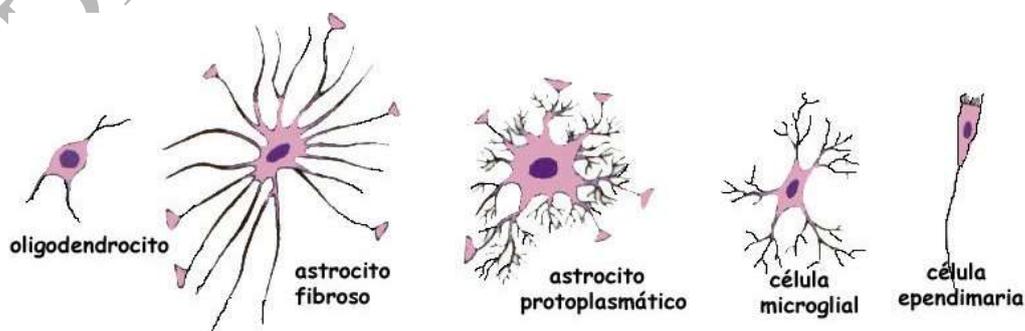


Figura 3. Características morfológicas de las células gliales.

4.1. Barrera hemato-encefálica

Además de las neuronas y de la neuroglía, tanto en el SNC como en el SNP hay un abundante componente vascular. Los vasos sanguíneos están separados del tejido nervioso por las membranas basales y una cantidad variable de tejido conectivo. La barrera hemato-encefálica es una barrera física que impide la llegada directa de productos desde la sangre hacia las neuronas y se constituye a partir de 1) los pequeños pies (en las prolongaciones) de los astrocitos, 2) el epitelio endimario y 3) la pared de los vasos sanguíneos capilares que llegan al SN sostenidos por la piamadre. Estos capilares tienen endotelio no fenestrado y membranas basales continuas como corresponde a los capilares continuos.

4.2. Glía del Sistema Nervioso Periférico

La glía periférica está constituida por las **células satélites**, que rodean los somas neuronales en los ganglios nerviosos y las **células de Schwann** que se ocupan de los axones que integran los nervios. Las células de Schwann serían las equivalentes de la oligodendroglía, pero en este caso son verdaderas especialistas, altamente desarrolladas, ya que rodean pequeños tramos de un axón y comienzan a enrollarse a su alrededor, hasta que el citoplasma de la célula de Schwann queda sumamente apretado (“exprimido”) y desaparece. Como cada membrana es una bicapa lipídica, la doble membrana es, en realidad, una serie de cuatro capas lipídicas, que rodea a un tramo del axón llamado internodo. La estructura lipídica se conoce como **mielina** y termina en cada nodo (o nódulo de Ranvier) con la capa más interna de la célula de Schwann. Cada internodo axonal corresponde a una célula de Schwann que a su vez está totalmente rodeada por una membrana basal. En la región del nodo de Ranvier, el axón se ensancha (de ahí el nombre) y una pequeña porción de su membrana, con las bombas de iones se expone al medio, con el fin de realizar los cambios del potencial de membrana.

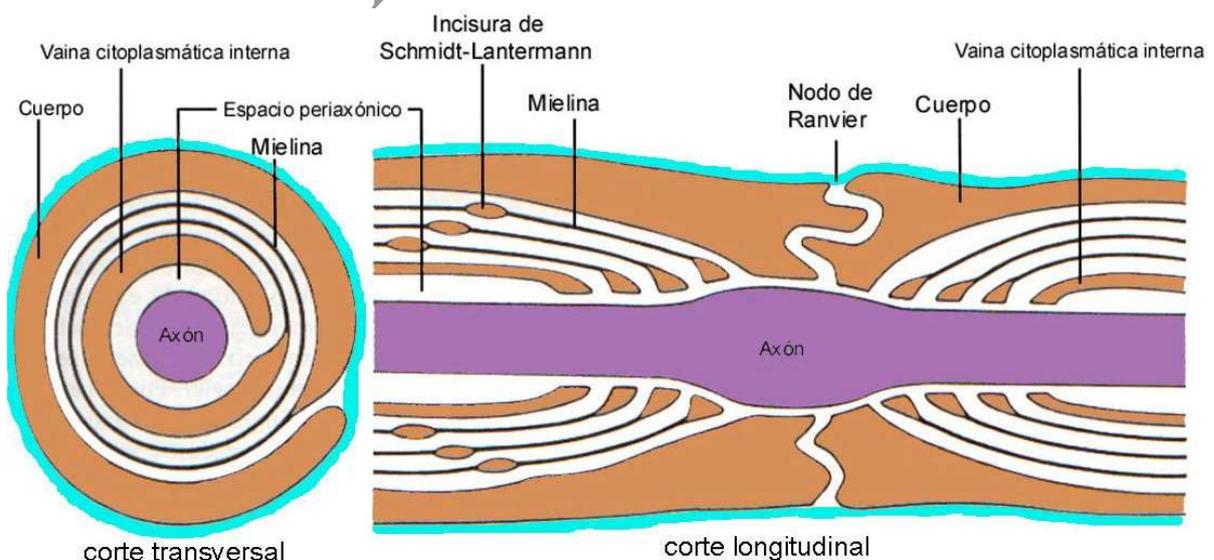


Figura 4. Corte transversal y longitudinal de un axón con vaina mielínica. La membrana basal está esquematizada en color verde.

Sin embargo, desde el punto de vista histológico, la vaina de mielina y su membrana basal aíslan al axón del compartimiento extracelular circundante. El cono axónico y las arborizaciones terminales donde el axón establece sinapsis con las células diana carecen de vaina de mielina.

No siempre las células de Schwann elaboran mielina alrededor de los axones; efectivamente, los nervios amielínicos son aquellos en los que los axones están incluidos en cavéolas de la célula de Schwann.

Las células **satélites** constituyen una capa de células cúbicas que envuelven a los somas neuronales en los ganglios. De esta manera, contribuyen a establecer y mantener un microambiente controlado alrededor del soma, proveyendo aislamiento eléctrico, así como una vía para el intercambio metabólico. Funcionalmente, es análogo a la célula de Schwann, pero no forma vainas de mielina.

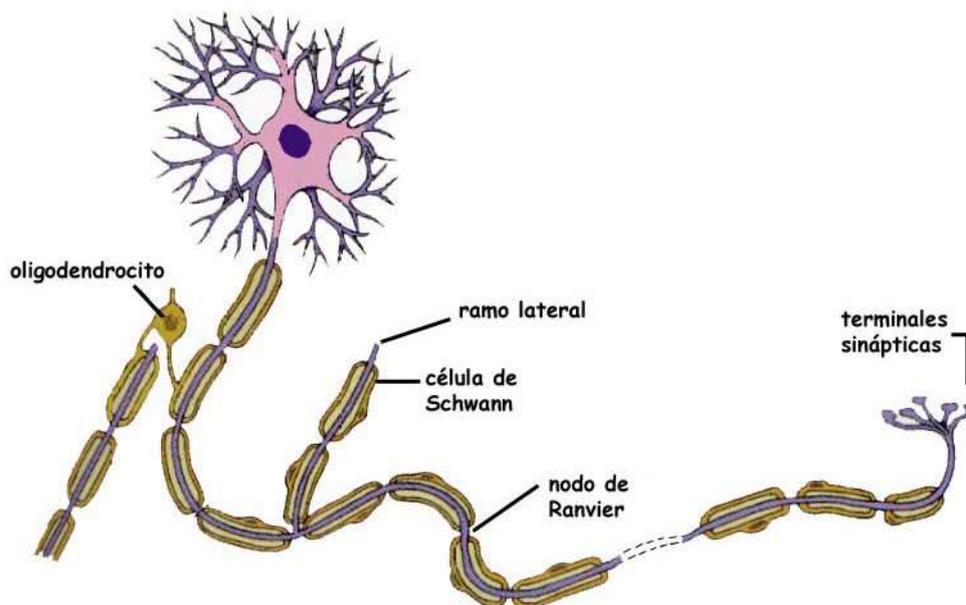


Figura 5. Esquema general de una neurona motora con sus prolongaciones y vainas de mielina. A la izquierda, la vaina está formada por los oligodendrocitos (SNC). A la derecha, la vaina depende de las células de Schwann (SNP).

5. Organización del Sistema Nervioso Central

5.1. Caracteres morfológicos-arquitectónicos del Sistema Nervioso Central

En el encéfalo, la sustancia gris se ubica en la corteza cerebral y cerebelosa y en profundidad, en agrupaciones denominadas núcleos grises. La sustancia gris contiene los somas neuronales, axones, dendritas y células de la glía. Este es el sitio donde ocurren las sinapsis. En la médula espinal en cambio, las neuronas se agrupan centralmente en tres áreas interconectadas que en un corte transversal se asemejan a una mariposa con sus alas abiertas. Las alas se denominan **astas dorsales, intermedias y ventrales**. Las astas dorsales contienen algunas neuronas interpuestas en la vía sensitiva, las astas intermedias se desarrollan en tórax, abdomen y pelvis y corresponden a las neuronas centrales del SNA Simpático

y Parasimpático y las astas ventrales tienen neuronas multipolares de tipo motora. En el centro de la sustancia gris de la médula se halla un conducto llamado **canal endimario** o **conducto del epéndimo** por el cual circula líquido céfalo-raquídeo. Los axones y dendritas, así como algunas células gliales y sus proyecciones, conforman la denominada sustancia blanca. En el encéfalo la sustancia blanca se ubica en el interior y rodeando a los núcleos grises, en cambio en la médula se ubica en la periferia de las astas. Los axones se juntan en **fascículos** que, en el caso de la médula, constituirán las **raíces dorsales** y las **ventrales**. Las raíces dorsales y ventrales emergen desde el canal vertebral, por los agujeros vertebrales y confluyen cerca del ganglio raquídeo de cada lado. Desde los ganglios surgen los **nervios raquídeos**.

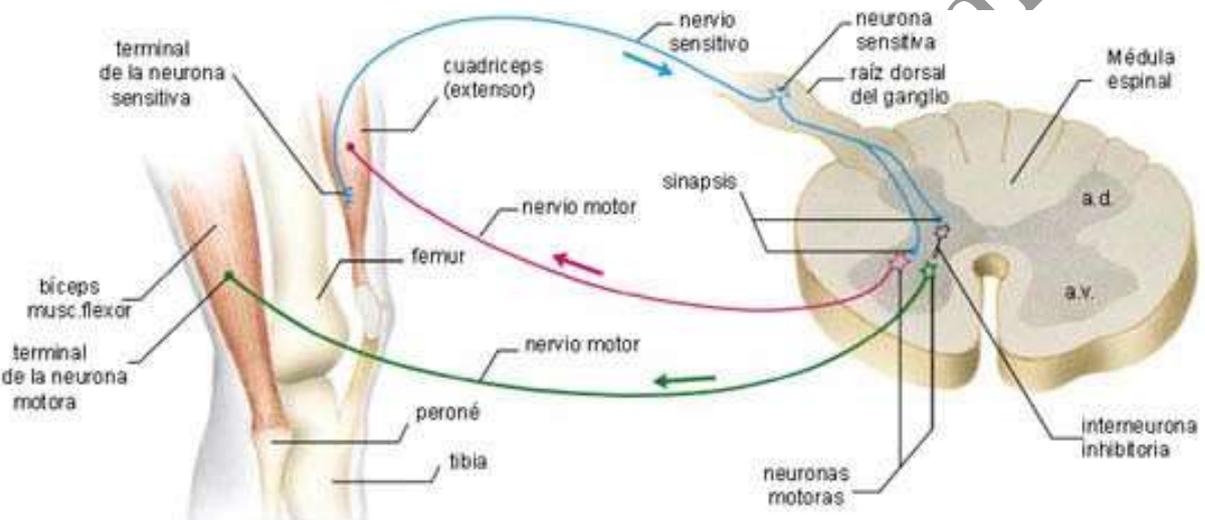


Figura 6. Arco reflejo simple (reflejo patelar). Comprende una vía sensitiva (en celeste) aferente que llega al asta dorsal y una vía eferente motora que parte desde el asta ventral y hace sinapsis con músculos antagonistas (en rojo y verde).

5.2. Membranas meníngeas

Entre el tejido nervioso y las cavidades óseas que lo contienen, se desarrollan unas membranas de tejido conectivo denominadas **meninges**. Éstas comprenden tres capas yuxtapuestas al tejido nervioso, que son las responsables de la protección periférica y de hacerle llegar los vasos sanguíneos que irrigan al tejido. Las tres capas son, desde el tejido nervioso hacia el hueso:

- **Piamadre**
- **Aracnoides**
- **Duramadre**

La **piamadre** es una membrana de tejido conectivo muy delicada y está en contacto directo con la superficie del encéfalo y la médula espinal. La piamadre es la única capa meníngea que se introduce en el tejido nervioso y lo hace como la vaina de tejido conectivo perivascular de los vasos sanguíneos encefálicos y medulares.

La **aracnoides** limita con la superficie interna de la duramadre y envía delicadas trabéculas aracnoideas hacia la piamadre en la superficie del encéfalo y de la médula espinal. Estas trabéculas, compuestas por tejido conectivo laxo, tienen

aspecto de telaraña y de ahí, el nombre de esta membrana. El espacio que cruzan las trabéculas es el **espacio subaracnoideo**, el cual contiene el líquido céfalo-raquídeo. En la cavidad craneal, la **duramadre**, que es una lámina relativamente gruesa de tejido conectivo denso, está en continuidad con el periostio de los huesos craneanos. Dentro de la duramadre hay espacios revestidos por endotelio que sirven como conductos principales para la sangre que retorna del encéfalo. Estos **senos venosos** reciben sangre de las principales venas cerebrales y la llevan a las venas yugulares internas. En el conducto vertebral, el periostio que recubre a las vértebras está separado por tejido adiposo de la duramadre, la cual forma un tubo separado que rodea la médula espinal.

Ambas superficies de la aracnoides, las trabéculas que forman esta membrana y la cara interna de la piamadre están tapizadas por un epitelio plano simple. La piamadre y la aracnoides están fusionadas alrededor de los orificios de salida para los nervios craneanos y raquídeos en la duramadre.

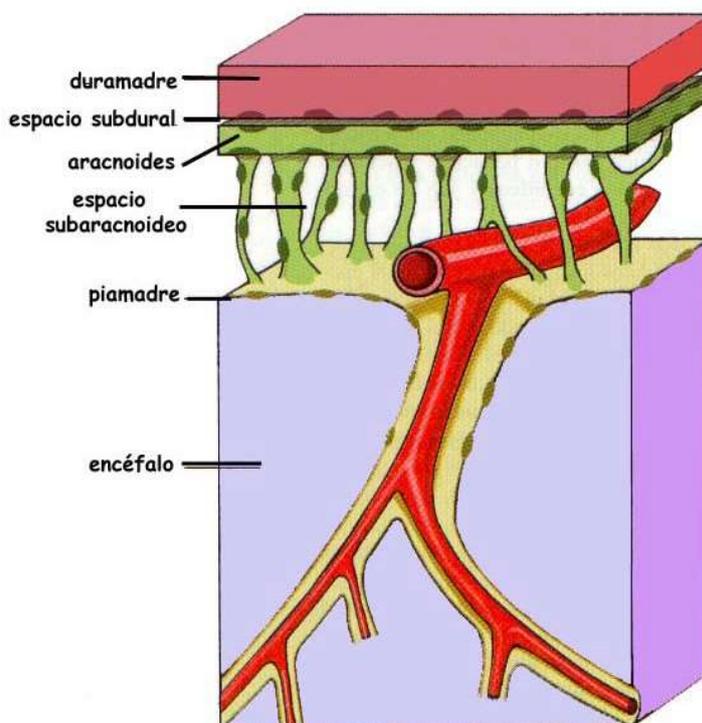


Figura 7. Disposición característica de las membranas meníngeas en el encéfalo.

6. Nervios periféricos

Cada nervio raquídeo está compuesto por fascículos de axones sensitivos y/o motores rodeados por mielina o no. Alrededor de cada axón, en la superficie externa se haya la porción nuclear-citoplasmática de la célula de Schwann y la membrana basal. Por fuera, algunas células fibroblásticas se encargan de producir fibras y sustancia intercelular del tejido conectivo para formar el **endoneuro** que rodea a cada axón. Varios axones forman un fascículo que a su vez está rodeado por tejido conectivo denso denominado **perineuro**. Finalmente, varios fascículos se juntan por medio de un tejido conectivo envolvente más denso denominado **epineuro**. Los vasos

sanguíneos o *vasa nervorum* ingresan en el conectivo para irrigar al tejido de sostén y a las células gliales, corriendo paralelos a los axones. En general, los nervios acompañan a las arterias, venas y capilares linfáticos envueltos por capas de tejido conectivo y adiposo y se ubican en lugares protegidos, entre los músculos o en el espesor del mesenterio. Al observar los preparados al microscopio, no suelen separarse los componentes de estas estructuras, que en conjunto se denominan paquete vásculo-nervioso.

7. Organización del Sistema Nervioso Autónomo

Los SNC y SNP están conectados entre sí y actúan en forma totalmente dependiente uno del otro en condiciones normales. Estos sistemas tienen una fracción importante del tejido nervioso que actúa en forma consciente y esto es necesario para mantener la vida en relación con el medio en que se desarrolla el individuo. No obstante, los animales no podrían manejar en forma consciente y de acuerdo a sus necesidades el impulso cardíaco, la respiración, la digestión, la reproducción, sus ciclos, etc. Para ello, el SN contiene una fracción del tejido que debe trabajar en forma inconsciente (esto es sin afectar a la corteza cerebral). A esta parte del sistema se lo conoce como **SNA** o **SN Vegetativo**, con sus dos divisiones: **Simpática** y **Parasimpática**.

Las neuronas **presinápticas** de la división **simpática** están ubicadas en las porciones **torácica** y **lumbar** de la médula espinal. Desde estas regiones envían axones hacia los **ganglios paravertebrales**, donde se hallan los somas de las neuronas efectoras **postsinápticas** de la división simpática.

Las neuronas **parasimpáticas presinápticas** se sitúan en el **tronco encefálico** y en la porción **sacra** de la médula espinal. Desde aquí, envían axones hacia los **ganglios viscerales** o **intramurales**, que contienen los somas de las neuronas efectoras **postsinápticas** de la división parasimpática.

Las divisiones simpática y parasimpática del SNA inervan en general los mismos órganos de manera antagónica. Por ejemplo, mientras que la división simpática induce broncodilatación a nivel del aparato respiratorio, la porción parasimpática, produce broncoconstricción.

8. Neurotransmisores

Los neurotransmisores son sustancias químicas que se sintetizan y almacenan en las neuronas y se liberan por impulsos eléctricos a la hendidura sináptica para interactuar, en general, con los receptores presentes en la membrana postsináptica. Estos neurotransmisores pueden ser de distintos tipos. En algunos casos son aminas como la *acetilcolina*, *noradrenalina*, *dopamina*, *serotonina* e *histamina*. En otros casos son aminoácidos y sus derivados como el *glutamato*, *aspartato*, el *ácido gamma-aminobutírico (GABA)*, y la *glicina*. También se utilizan los péptidos como la *encefalina*, *dinorfina*, *neuropéptido Y*, *neurotensina* y otros. Las neuronas pueden asimismo, utilizar compuestos gaseosos como el *monóxido de nitrógeno* u *óxido nítrico (NO)* y el *monóxido de carbono (CO)*.

En general los neurotransmisores que actúan como inhibitorios son el GABA y la glicina en el SNC (abren canales de Cl⁻). Los que son excitatorios, son el glutamato, aspartato y la acetilcolina en SNC y periférico (abren canales de Na⁺). La noradrenalina

y la acetilcolina son los transmisores típicos del SNA simpático y parasimpático respectivamente y actúan de manera excitatoria o inhibitoria según el receptor al que se unan. Recordar que la función que desempeñan los neurotransmisores depende del tipo de receptor sobre el cual actúan (en la membrana postsináptica).

9. Receptores sensitivos

Los receptores sensitivos son estructuras de complejidad variada. Los cuatro sentidos principales, ojo, oído, gusto y olfacción, están representados por órganos con distintos tipos celulares involucrados, además de las células de origen nervioso que actúan como receptoras del sentido. Así, tenemos:

- en el ojo, los *fotorreceptores conos y bastones* en la región interna de la retina,
- en el oído, el *órgano de Corti* para la audición mientras que para el equilibrio, se encuentran las *máculas de sáculo y utrículo* y las *crestas ampulares de los canales semicirculares*, todos ellos en el caracol membranoso del oído interno,
- en el gusto, las células internas de los *corpúsculos gustativos* ubicadas en las papilas linguales y en el paladar y en la olfacción, la *mucosa pituitaria* de la región dorso-caudal de los conductos nasales contiene células especiales incluídas entre varios tipos celulares de sostén.

En los otros sentidos: *interoceptores* y *exteroceptores*, la complejidad se reduce a pocos tipos celulares.

Los interoceptores corresponden a los *husos neuromusculares* y *neurotendinosos*, que se ubican en el interior de un músculo o de un tendón, respectivamente y *receptores viscerales* ubicados entre las capas de músculo liso. En estos, lo que se percibe es el grado de tensión de las fibras musculares y tendinosas. La información es llevada por la vía sensitiva o aferente hacia el ganglio raquídeo regional y de allí a la médula.

Los exteroceptores son los que perciben el *calor, dolor y presión* así como el *sentido del tacto*. Estos se ubican habitualmente en la piel (epidermis y dermis) e hipodermis. Los sentidos especiales son formas complejas de exteroceptores.

Las figuras son modificaciones de esquemas de varios textos de Histología (Hib, Genesser, otros)