

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO.
FACULTAD DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA CELULAR Y
TISULAR
BIOLOGÍA CELULAR E HISTOLOGÍA MÉDICA**

TEJIDO Y SISTEMA NERVIOSO

CÉSAR EDUARDO MONTALVO ARENAS M.V.; Ms. C. B.

Asesoría técnica:

Técnico Académico: Francisco Pasos Nájera.

Laboratorista: Ricardo Hernández Trujillo.

INTRODUCCIÓN.

Todos los seres vivos necesitan establecer relaciones con el medio que los rodea e inclusive con su medio interno, con la finalidad de poder realizar las funciones que le permitan continuar desarrollando sus procesos vitales. Las funciones de asimilación (digestivas y respiratorias), las funciones de excreción o eliminación de productos tóxicos (urinarias o respiratorias), las de reproducción y las de relación y traslación (sistema óseo - muscular) requieren estar coordinadas adecuadamente para que el ser vivo pueda cumplir con una de las leyes biológicas, la perpetuación de la especie a la que pertenece.

Los seres unicelulares o pluricelulares, en diferente grado y nivel, establecen entre sus partes esa relación con su propio medio o con el que los rodea.

Los individuos unicelulares establecen la relación con el medio externo a través de la membrana (empleando para tal fin una serie de receptores que forman parte de la misma) y, por intermedio de un conjunto de mediadores o mensajeros químicos localizados en el citoplasma que enlazan lo percibido por la membrana con los componentes del citoplasma y el núcleo.

Los seres pluricelulares conforme evolucionaron se hicieron más complejos en su estructura morfológica, por lo tanto, necesitaron desarrollar un conjunto de células y componentes celulares especializados específicamente en establecer, con gran eficiencia, la relación con el medio exterior y con su medio interno para coordinar, de la manera más eficaz posible, todas las funciones vitales.

En los seres pluricelulares como los pertenecientes a la especie humana, las células encargadas de cumplir las tareas de relacionar y coordinar las funciones vitales del organismo son las neuronas y sus prolongaciones (axones y dendritas) asociadas con otros tipos celulares para integrar, el tejido nervioso, los órganos nerviosos y todos ellos, en conjunto, formar el sistema nervioso.

Por lo expuesto, el sistema nervioso, en la especie humana, recibe estímulos externos que son de diversa calidad: químicos como los del olfato o del sabor, físicos como la radiación luminosa (sentido de la visión), la calórica o la disminución o falta de ella (frío), ondas sonoras (sentido de la audición) y mecánicos como en el sentido del tacto (una caricia, un abrazo o un golpe en alguna zona del cuerpo).

Así mismo, el sistema nervioso percibe estímulos que se generan en el interior del organismo, como los cambios de temperatura interna, variaciones en el ritmo cardiaco, modificaciones en la presión arterial, secreción de glándulas, motilidad de órganos internos, etc.

Los diversos estímulos recibidos son procesados por las neuronas con la finalidad de elaborar una respuesta que puede ser, a su vez, de estimulación o de inhibición, y conducirla a células, tejidos y órganos efectores. Los estímulos percibidos y las respuestas que se producen pueden ser voluntarios, involuntarios o una mezcla de ambos.

En las células y órganos efectores, la respuesta se traduce en un resultado que generalmente puede ser de movimiento o de secreción. Por ejemplo, si han transcurrido varias horas desde que desayunamos y de pronto percibimos el aroma de un alimento agradable o el simple hecho de recordarlo, produce en nosotros, casi de manera instantánea, secreción salival, es decir "*se nos hace agua la boca*". Puede suceder que, de forma imprevista, percibamos una luz sumamente intensa, este estímulo luminoso se traducirá de manera inmediata en el entrecerrar de los párpados con la finalidad de disminuir la llegada de las ondas luminosas a la retina.

La explicación, en este último caso, involucra una serie de estímulos y respuestas. Ante la rapidez de contracción de los músculos del cuerpo, ellos requieren de un mayor aporte de oxígeno, por lo tanto se debe aumentar el riego sanguíneo y para que esto ocurra la sangre debe circular con mayor velocidad y sólo circulará con mayor rapidez si el corazón la bombea con mayor frecuencia; pero la sangre debe reponer el volumen aumentado de oxígeno cedido a las fibras musculares, captando, en el ámbito de los alvéolos pulmonares, mayor cantidad de oxígeno y esto sucede solamente si la frecuencia de entrada y salida del aire que respiramos se incrementa.

Esta cascada de recepción de estímulos y elaboración de respuestas adecuadas para coordinar los procesos vitales que requiere el organismo en esos momentos de gran esfuerzo lo realiza el sistema nervioso

RELACIÓN ENTRE EL SISTEMA NERVIOSO Y LOS OTROS APARATOS Y SISTEMAS DEL ORGANISMO.

Los componentes del sistema nervioso guardan una estrecha relación con todas las estructuras que constituyen los otros aparatos y sistemas del organismo. Esta relación se considera fundamental para la coordinación y regulación del funcionamiento armónico del cuerpo humano. Los ejemplos mencionados en el acápite anterior nos permiten comprender como el sistema nervioso interactúa con las otras unidades morfológicas y funcionales del organismo.

Colaboran de manera estrecha con el sistema nervioso, en la regulación y coordinación funcional, el sistema endocrino y el aparato circulatorio. Los avances recientes en el estudio del funcionamiento de un organismo animal permiten afirmar que la regulación neuroendocrina de los aparatos y sistemas es cada vez más evidente.

Es necesario explicar aquí que el funcionamiento de la glándula endocrina hipófisis está regulado por la interacción de la corteza cerebral y el hipotálamo que, a su vez reciben estímulos nerviosos y hormonales (estos últimos conducidos a los órganos nerviosos por vasos sanguíneos).

Las prolongaciones neuronales se ponen en contacto con células y tejidos de todo el organismo, forman una red de comunicación sumamente intrincada pero a su vez muy completa. Cualquier componente de un tejido o de un órgano debe estar en contacto, directo o indirecto, con alguna ramificación del sistema nervioso.

El funcionamiento de un tejido, órgano o aparato estará regulado y coordinado por el sistema nervioso y en estrecha colaboración con el sistema endocrino y el aparato circulatorio.

ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA NERVIOSO: DIVISIÓN ANATÓMICA Y FUNCIONAL

- **Anatómicamente el sistema nervioso se divide en:**
 - ❖ El sistema nervioso central y
 - ❖ El sistema nervioso periférico.

El sistema nervioso central está constituido por:

- El **Encéfalo**.
- La **Médula espinal**

Integrados por un conjunto de neuronas y células gliales encargadas de recibir estímulos y elaborar y procesar las respuestas efectoras. Ambas estructuras están localizadas

en el eje mayor del cuerpo; ocupan la alineación central desde la región cefálica hasta la región sacra-coxígea. Al encéfalo lo cubre totalmente los huesos que constituyen el cráneo y la médula espinal se encuentra en el interior del conducto vertebral (figura tej. Nerv. 1).

Esto significa que el sistema nervioso central se halla totalmente protegido por una cubierta ósea, dura, resistente y muy sólida que impide, hasta cierto grado, que los componentes celulares y tisulares de los órganos nerviosos puedan ser dañados fácilmente.

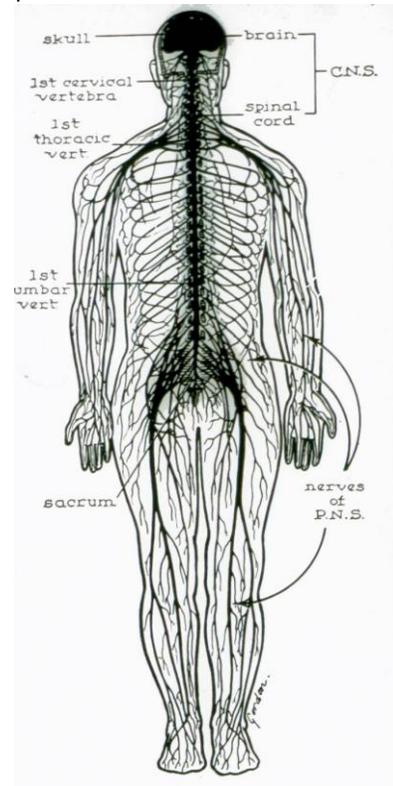


Figura Nerv. 1. Esquema que representa el sistema nervioso central y el sistema nervioso periférico. (Geneser, F. Histología, 2ª edición. Pag. 261, editorial Médica-Panamericana. 1993)

Sistema Nervioso Periférico. Está integrado por

- ♦ **Los nervios**, estructuras alargadas, cilíndricas, en forma de cables o cordones integrados por la reunión de prolongaciones neuronales (axones y dendritas) que se originan, la mayoría de ellas, en el sistema nervioso central.
- ♦ **Los ganglios nerviosos**, están formados por acumulaciones de neuronas que, en cierto momento del desarrollo embriológico del individuo migraron de las *crestas neurales (neuroepitelio embrionario)*, para situarse en diversos esbozos embrionarios y ahí constituir los ganglios.

Existen dos tipos de ganglios nerviosos: los **sensitivos o cerebroespinales** llamados también *cefalorraquídeos* porque se localizan a los lados del eje del encéfalo

(cerebro) y de la médula espinal y los ganglios **autónomos** localizados generalmente en el interior de cavidades del organismo o en el interior de tejidos y órganos (*viscerales* o *intramurales*). Las neuronas de los ganglios también emiten prolongaciones que realizan contactos con las dendritas y axones de los nervios. Estableciéndose así una red de conexiones entre el sistema nervioso central y el periférico.

- ♦ **Las terminaciones nerviosas**, son estructuras situadas en la superficie externa del individuo, (piel y cavidades relacionadas con la superficie externa) o en el interior del organismo. La existencia de ellas permite captar estímulos o de conducir y transportar una respuesta al estímulo captado.

➤ Funcionalmente el sistema nervioso esta constituido por:

- ❖ **El sistema nervioso voluntario** o de la vida de relación, denominado así porque las funciones están relacionadas con la conciencia y la voluntad del individuo (trasladarse de un lugar a otro, observar algún objeto, oler o escuchar son funciones voluntarias) y las efectúan órganos como la corteza cerebral y la médula espinal, aunque existen regiones del encéfalo y la médula espinal que responden a estímulos y elaboran respuestas que son inconscientes e involuntarias y
- ❖ **El sistema nervioso involuntario o autónomo**, está constituido por un conjunto de estructuras del sistema nervioso central y del periférico que funcionan por debajo del nivel de conciencia y no obedecen a la voluntad.

Es el responsable de la regulación del medio interno del organismo; esto significa que puede aumentar o disminuir la actividad de muchas de sus funciones (respiración, ritmo cardiaco, movimientos peristálticos, secreción de las glándulas, filtración de la sangre, etc.) estos cambios permiten mantener condiciones fisiológicas variables pero que adecuan la estabilidad y el normal funcionamiento del cuerpo humano.

El sistema nervioso autónomo, llamado también de la **vida vegetativa**, esta dividido en dos partes: el **simpático** y el **parasimpático**. Generalmente cada tejido, estructura u órgano que está inervado por fibras autónomas recibe ramificaciones nerviosas simpáticas y parasimpáticas. Las funciones que realiza cada división son antagónicas con relación a las otras. Por ejemplo si la estimulación

simpática de un órgano acelera su actividad, entonces la estimulación parasimpática la retardará o la disminuirá.

DESARROLLO EMBRIOLÓGICO DEL TEJIDO Y SISTEMA NERVIOSO

El tejido nervioso y, por consiguiente el sistema nervioso se originan del ectodermo axial denominado neuroectodermo.

Este conjunto de células recibe la influencia inductora de evocadores como el **Sonic Edgehog (Shh)** emanados de la notocorda, estructura derivada del mesodermo axial, que propician la proliferación de estas células neuroectodermales para transformarse en un engrosamiento denominado **placa neural** (Figura Tej. Nerv. 2a y 6a) posteriormente estas células notocordales, durante la gastrulación, liberan un factor denominado **Proteína-4 de la Morfogénesis del Hueso (BMP4)**. Esta sustancia evocadora induce a la placa neural para generar la diferenciación en el **surco neural**. A continuación y bajo la influencia de otro evocador el **Factor Nuclear Hepático-3beta (HNF-3beta)**, la notocorda (Fig. Tej. Nerv. 10) secreta la **Noggin** y la **Chordina**, ambos factores influyen de manera notoria para que prosiga la diferenciación del neuroectodermo en el surco y el tubo neural.

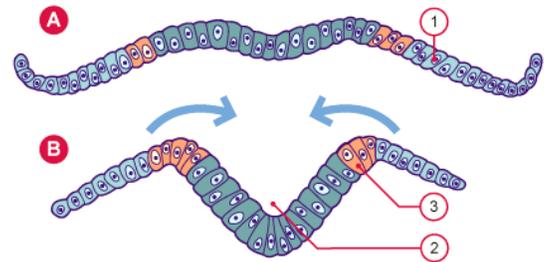


Figura tej. Nerv 2. Representación esquemática del origen y formación de la placa, el surco neural y las crestas neurales. Figuras A y B: Placa neural, Surco neural. El número 1 indica el ectodermo superficial (células de color azul claro); el número 2, células de color verde integrantes del surco neural y el número 3 señala las células de color naranja, precursoras de las crestas neurales (no se ha representado a la notocorda).

Los evocadores mencionados influyen para que en el citoplasma se sinteticen microtúbulos y miofilamentos de actina y miosina. La disposición de los microtúbulos paralelos al eje longitudinal de los neuroblastos y de los miofilamentos de actina y miosina en forma de un anillo en el tercio apical de estas células (fig. tej. Nerv. 3), producen la invaginación de la placa neural para transformarse en el surco neural (Figs. Tej. Nerv. 2b y 5) Posteriormente los bordes del surco neural se fusionan entre sí para constituir el tubo neural. Durante la fusión el neuroepitelio del surco neural se separa del ectodermo superficial (futura epidermis) y forma el tubo neural (Fig.

Tej. Nerv. 4 y 6D) En el punto de fusión algunas células neuroectodermales se desprenden (migran) y se separan del tubo neural para constituirse en las crestas neurales (Fig. Tej. Nerv. 4 y 6C y 6D)

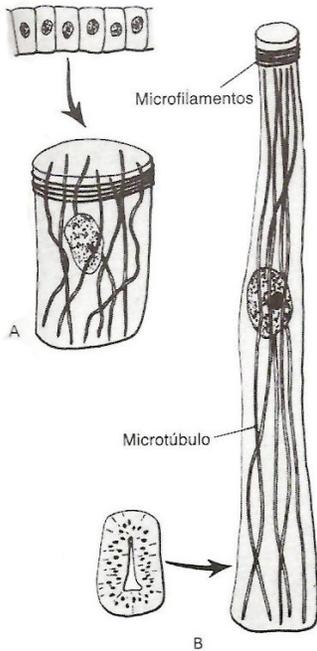


Figura Tej. Nerv. 3. Representación esquemática de la manera como en las células del neuroepitelio se disponen los componentes del citoesqueleto (filamentos de actina y miosina y microtúbulos) para provocar la invaginación de la placa neural u formar el surco neural. Patten, B.M. y Carlson B.M. Embriología Básica de Patten 5ª edición 1990. Editorial Interamericana. Mc Graw- Hill.

Los bordes del surco neural se fusionan para constituir el tubo neural. En el punto de fusión de ambos bordes migran un grupo de células neuroectodermales que, para este efecto utilizan la proteína fibronectina como soporte para el traslado (fig. tej. Nerv. 8 y 9) a los lados dorsales del tubo neural originando las denominadas *crestas neurales*.

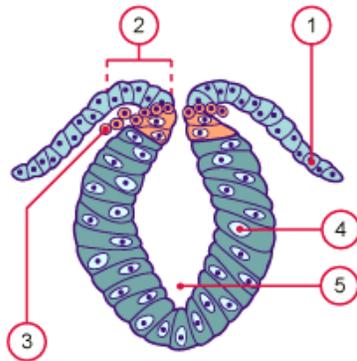


Figura tej. Nerv. 4. Representación esquemática del cierre del tubo neural. Los números 1 y 2 indican al epitelio ectodérmico superficial (epidermis primitiva). El número 3, la migración de las células de las crestas neurales. Los números 4 y 5 muestran a las células de la pared del tubo neural y la cavidad endimaria primitiva, respectivamente.

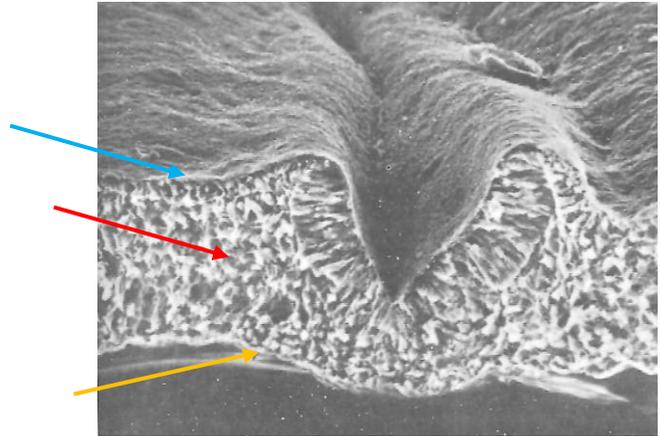


Figura Tej. Nerv. 5. Fotomicrografía electrónica de barrido de una sección transversal del surco neural. Se observan las tres hojas blastodérmicas: ectodermo (flecha azul), mesodermo (flecha roja) y endodermo (flecha naranja). Del ectodermo se distingue el neuroectodermo formando el surco neural y el ectodermo que originará la epidermis primitiva. Patten, B.M. y Carlson B.M.

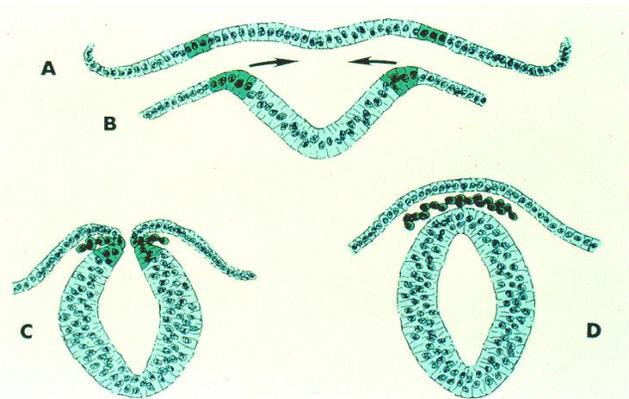


Figura Tej. Nerv. 6. Dibujo que representa un resumen de los diversos eventos de la formación del tubo neural y de las crestas neurales.

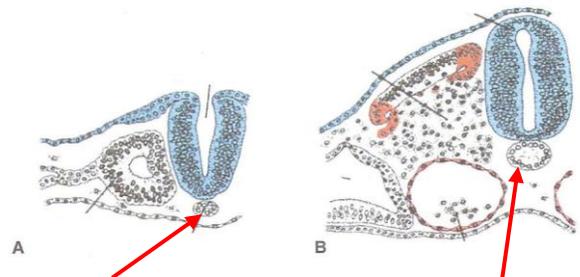


Figura Tej. Nerv. 7. Imágenes secuenciales del desarrollo embrionario del tejido y sistema nervioso. A) La placa neural se invagina y origina el surco neural. B) los bordes del surco se fusionan para que las células neuroectodermales formen el tubo neural y el ectodermo superficial originará la epidermis primitiva. Se observan otros componentes primitivos derivados del mesodermo. Lagman, Embriología Médica 8ª edición.

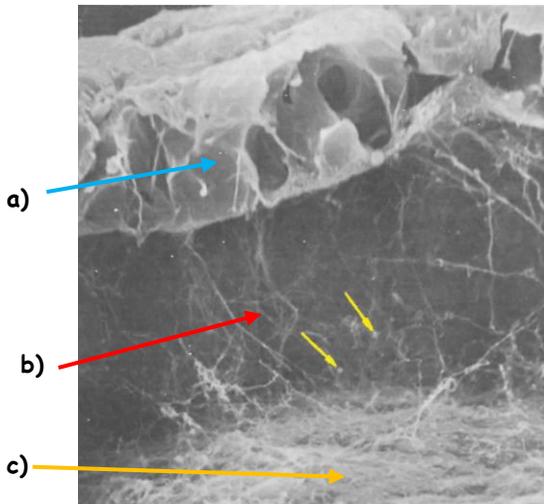


Figura tej. Nerv. 8. Fotomicrografía mediante el microscopio electrónico de Barrido de la matriz o sustancia intercelular de un embrión trilaminar. a) Ectodermo, b) Endodermo y c) Mesodermo. En esta capa se observa la matriz conjuntiva constituida por una red fibrilar muy fina de G.A.G, proteínoglicanos y glicoproteínas (constituida preferentemente por fibronectina, flechas amarillas) Patten, B.M. y Carlson B.M. 1990.

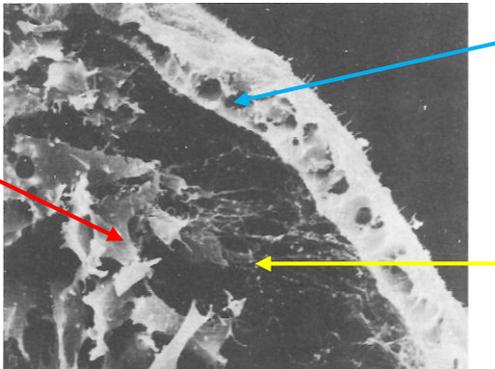


Figura Tej. Nerv. 9. Embrión trilaminar: Ectodermo y Mesodermo. En esta capa se visualizan células mesodermales en proceso de migración, utilizando como soporte la red microfibrilar (fibronectina) Patten, B.M. y Carlson B.M. 1990

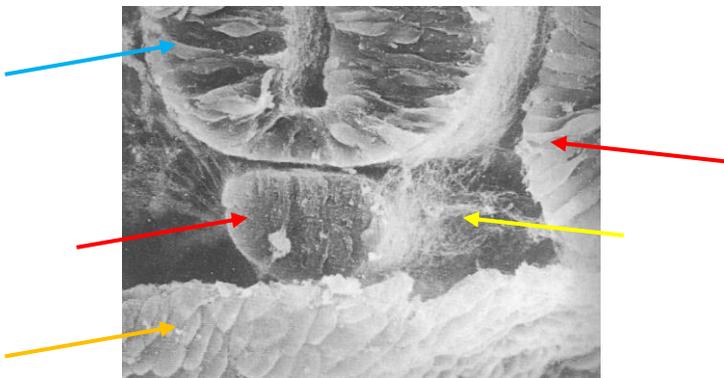


Figura Tej. Nerv. 10. Fotomicrografía obtenida con el microscopio electrónico de barrido (scanning). Embrión trilaminar donde se observan: el tubo neural, la notocorda rodeada de una red microfibrilar constituida por matriz extracelular, G.A.G, proteínoglicanos y glicoproteínas como la fibronectina, al lado derecho una porción de un somito y en la parte inferior células del endodermo. Patten, B.M. y Carlson B.M. 1990

Las células neuroectodermales, posteriormente se diferencian en dos estirpes celulares: **Neuroblastos** (originaran a las neuronas) y **Glioblastos** (originarán a las células de glia). En etapas más avanzadas del desarrollo, células de la médula ósea (monocitos) colonizarán al neuroepitelio y generarán la diferenciación de las células de **Microglia** (Fig. Tej. Nerv. 11). Estas diferenciaciones celulares son las que integrarán el **Tubo Neural** para posteriormente constituir los componentes u órganos del **Sistema Nervioso Central**: Encéfalo y Médula Espinal.

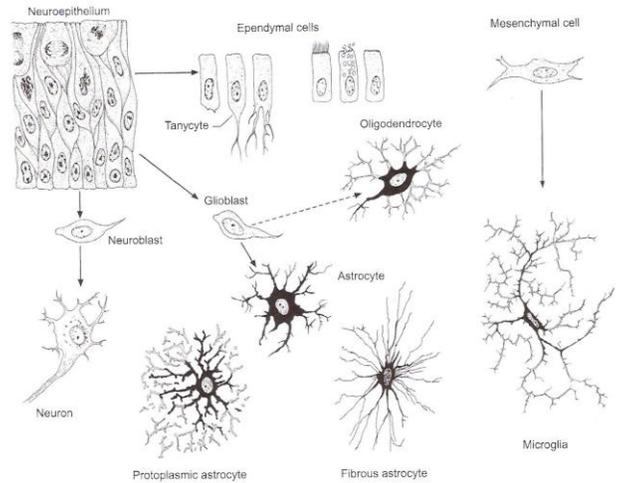


Figura Tej. Nerv. 11. Representación esquemática de la diferenciación celular a partir de los componentes neuroblásticos y glioblásticos de las células del tejido nervioso. Poul Hyttel, Fred Sinowats y Morten Vejlsted. Domestic Animal Embryology. 2010. Editorial Saunder Elsevier

Crestas neurales. Los neuroblastos y glioblastos migrantes tienen varios destinos. Los neuroblastos se diferenciarán en neuronas agrupadas en la forma de **ganglios nerviosos**, ya sea a los lados de las vesículas cerebrales primitivas y de la médula espinal primitiva (**ganglios nerviosos cerebroespinales**) o entre diversos esbozos tisulares alejados del eje axial (**ganglios viscerales o intramurales**), migración representada en las imágenes de la figura Tej. Nerv 12:

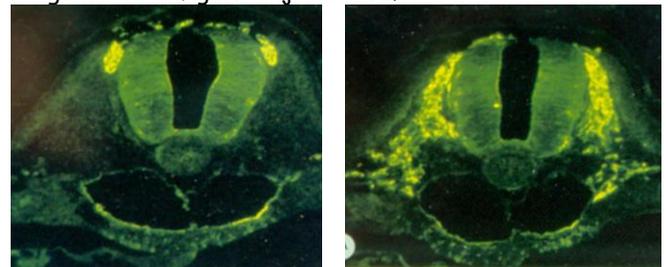


Figura Tej. Nerv. 12. Fotomicrografías fotónicas obtenida mediante el microscopio de radiación ultravioleta. Se observa a) la disposición de las células neuroepiteliales para formar las crestas neurales y posteriormente los ganglios cerebro-espinales y b) Se distingue la migración de neuroblastos de las crestas neurales para dirigirse a diversos esbozos embrionarios (blastemas) del cuerpo.

Un grupo de neuroblastos integran los esbozos ganglionares cefalorraquídeos y otros migran para incorporarse a diversos tejidos, en ambos casos sus prolongaciones dendríticas y axónicas formarán los **nervios** y **terminaciones nerviosas**; los neuroblastos que migran de manera aislada constituirán posteriormente las células neuroendocrinas del **sistema neuroendocrino difuso (SNED)**. Los glioblastos migrantes se diferenciarán en células gliales, por ejemplo **anficitos** o **células satélites** y las **células de Schwann**. En conjunto todos ellos integrarán el **Sistema Nervioso Periférico** (figura Tej. Nerv. 14).

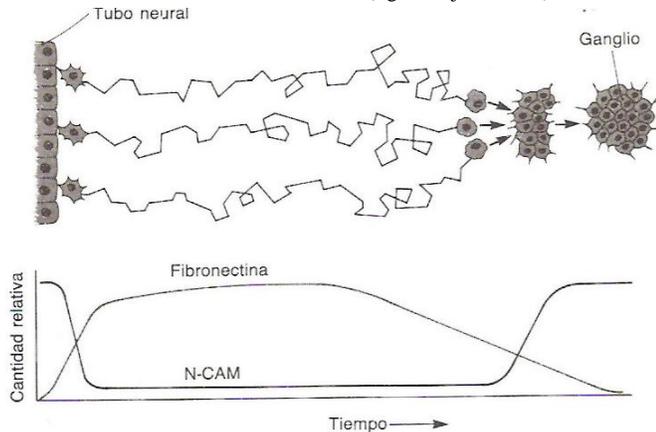


Figura Tej. Nerv. 13. Actividad de las moléculas proteínicas fibronectina y de Adhesión celular nerviosa en la migración de células neuroectodermales provenientes de las crestas neurales para integrar los conglomerados celulares que originarán ganglios nerviosos. Patten, B.M. y Carlson B.M. 1990

Los neuroblastos utilizan dos proteínas extracelulares para originar ganglios nerviosos: la red de **fibronectina** para desplazarse en la matriz extracelular y posteriormente para agruparse e inhibir su desplazamiento emplean moléculas de **glicoproteínas de adhesión celular (N-CAM)**; observar el esquema de la figura Tej. Nerv. 13.

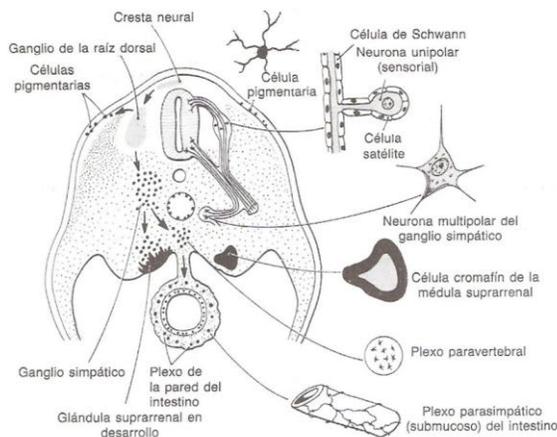


Figura Tej. Nerv. 14. Representación esquemática de los diversos destinos de las células migrantes neuroepiteliales de las crestas neurales Patten, B.M. y Carlson B.M. 1990

La diferenciación y desarrollo de la secuencia placa, surco y tubo neural tiene como destino final la estructuración morfológica y funcional del sistema nervioso central. Las células embrionarias neuroectodermales y sus incipientes prolongaciones integran la pared celular del tubo. En una primera etapa Las células neuroectodermales proliferan profusamente, especialmente las localizadas en la luz del tubo, una de las células hijas migra hacia la membrana basal y la otra permanece como célula madre. Este proceso continúa de tal manera que muy tempranamente se distinguen tres zonas o capas: de la luz del tubo hacia la periferia se observan: a) la capa **ependimaria**, desde 1970, también se le denomina **capa ventricular**, b) la capa de manto, o **capa intermedia** y c) la capa marginal. Observar las imágenes A, B, y C de la figura Tej. Nerv. 15 y la figura 16.

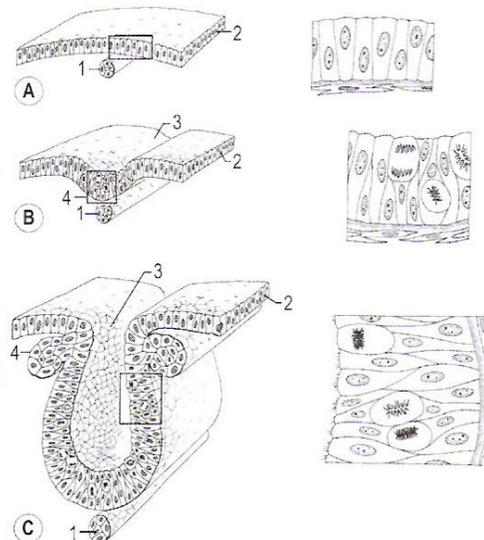


Figura Tejido Nerv. 15. Representación esquemática de la formación secuencial de la placa y surco neural con la consecuente proliferación neuroblástica . Hyttel, P, Fred Sinowats, F Vejlsted, M. 2010.

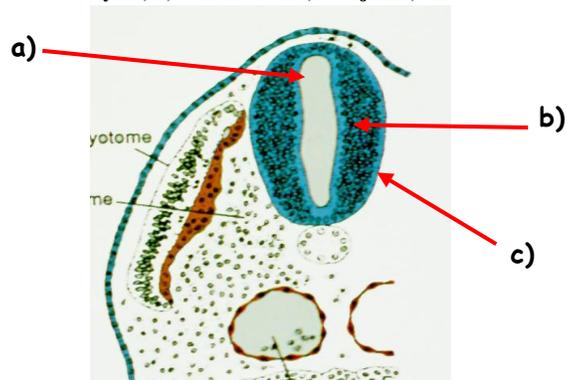


Figura Tej. Nerv. 16. Representación esquemática de la diferenciación celular del tubo neural a) Capa ependimaria, b) Capa de manto y c) Capa Marginal. Lagman, Embriología Médica 8ª edición.

Las células neuroectodermales se diferenciarán en endimoblastos, posteriormente se transformarán en

células endimarias o endimocitos (fig. Tej. Nerv. 17E) los cuales en los ventrículos cerebrales darán origen a los plexos coroideos. De la capa de manto, los neuroblastos darán origen a las neuronas (imagen de D de la Figura Tej. Nerv. 17) que con el desarrollo de de sus prolongaciones axónicas y dendríticas, se constituye la capa marginal como se distingue en la imagen E de la misma figura. Los glioblastos se diferenciarán en células de la glía, Se añaden, durante la diferenciación celular, células mesenquimatosas provenientes de la médula ósea (monoblastos - monocitos) para originar células fagocíticas o microglías.

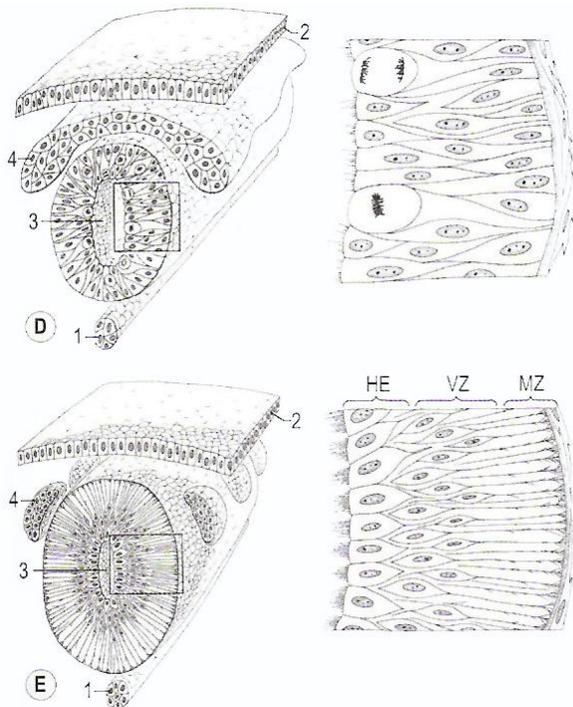


Figura Tej. Nerv. 17. Representación esquemática de estadios más avanzados en la proliferación y diferenciación neuronal de las paredes del tubo neural y la disposición de la capa endimaria (HE), capa endimaria (VZ) y la capa o zona marginal (MZ). Obsérvese la diferenciación del neuroepitelio que constituirá las crestas neurales. Hyttel, P, Sinowats, F. y Vejlsted, M. 2010.



Figura Tej. Nerv. 18. Esquemas del desarrollo embriológico de la placa y surco neural humano. El neuroectodermo está representado de color azul. A) embrión de 18 días de gestación, la placa neural se observa expandida en la región cefálica (esbozo del cerebro), la porción media y caudal mantiene un tamaño uniforme (esbozo de la médula espinal); B) Embrión de 20 días de gestación. El neuroepitelio muestra la invaginación que dará lugar al surco neural. En la futura región cervical se distingue la aparición de los tres primeros pares de somitas o somitos. . Lagman, Embriología Médica. 8ª edición.

De manera simultánea a la estructuración celular y tisular del tubo neural, la porción cefálica de tubo se alarga y se expande rápidamente, dando origen a los primordios del cerebro, constituidos por tres vesículas encefálicas primitivas: anterior, media y posterior denominadas respectivamente: **prosencefalo**, **mesencefalo**, y **romboencefalo** (Fig. Tej. Nerv 19), Posteriormente se originarán cinco vesículas: **Telencefalo**, **Diencéfalo**, **Mesencefalo**, **Metencefalo** y el **Mielencefalo** (Figura tej. nerv. 20). Con relación a la porción caudal, el tubo neural (precursora de la médula espinal) mantiene un diámetro uniforme.

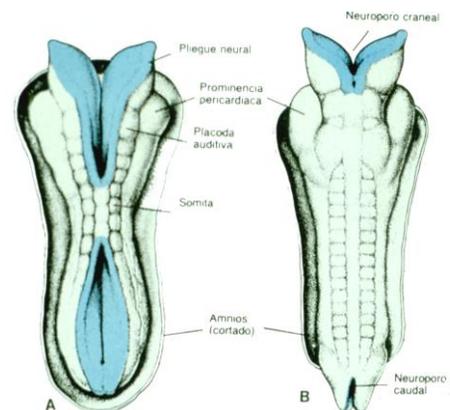


Figura Tej. Nerv. 19. Esquemas del desarrollo embriológico del surco y del tubo neural humano. El neuroectodermo está representado de color azul. A) Embrión de 22 días; B) Embrión de 23 días de gestación. En ambas etapas se observa la formación de las vesículas cerebrales primitivas y el inicio del cierre del surco neural para constituir el tubo neural. Éste se inicia en la región cervical y se continúa cefálica y caudalmente hasta culminar en los neuroporos cefálico y caudal. En la figura B se distinguen el prosencefalo, mesencefalo y romboencefalo. . Lagman, Embriología Médica 8ª edición.

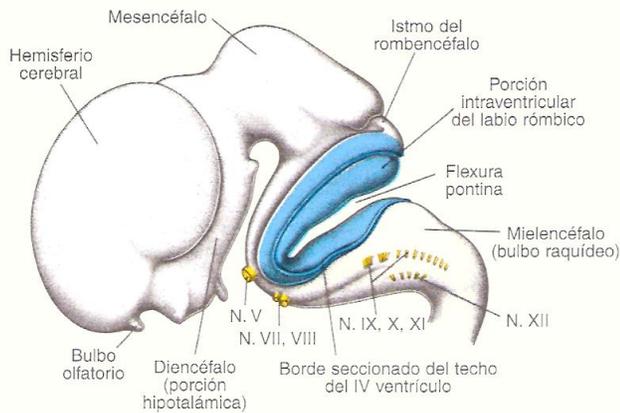


Figura Tej. Nerv. 20. Representación esquemática del desarrollo del encéfalo. Se observa, en una imagen lateral, las dilataciones y constricciones de las cinco vesículas cerebrales definitivas. Lagman, Embriología Médica. 8ª edición.

Los neuroblastos proliferan profusamente, algunos de ellos emiten pequeños **procesos (dendritas y axones)**, Durante el periodo de la ontogénesis del neuroepitelio se diferencian los neuroblastos, glioblastos y endimoblastos, mientras **que la gran mayoría continúan proliferando constantemente** engrosando de esta manera la capa de manto (Fig. Tej. Nerv. 21). Los neuroblastos de la capa de manto se disponen en dos regiones: Las placas dorsales y las placas alares. La gran cantidad de neuroblastos es tan evidente que, en secciones transversales de las vesículas cerebrales y especialmente en la futura médula espinal, los neuroblastos, en conjunto, adoptan la forma de la silueta de una mariposa, (Figuras Tej. Nerv. 22, 23 y 24) así constituyen la **sustancia gris** del sistema nervioso central.

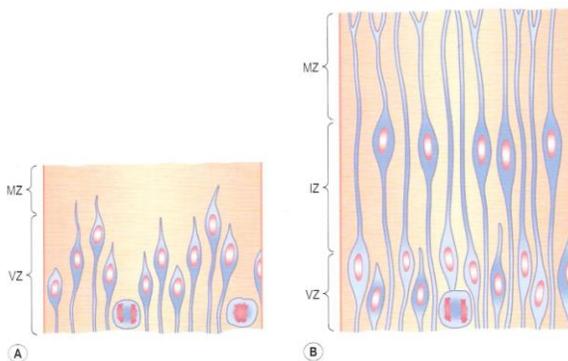


Figura Tej. Nerv. 21. Representación esquemática de la proliferación y diferenciación de los neuroblastos en la estructuración neuronal de la capa de manto del tubo neural. Hyttel, P., Sinowats F., y Vejlsted, M. 2010.

La proliferación abundante de los neuroblastos ocasiona que los cuerpos neuronales permanezcan preferentemente en la capa de manto, extienden sus prolongaciones axonales

hacia la periferia del tubo neural y contribuyen a formar la capa marginal. En las vesículas cerebrales, en cambio, los somas neuronales migran hacia la periferia y las prolongaciones axónicas permanecen estrechamente relacionadas con la cavidad endimaria.

La luz del tubo neural muy amplia, en un inicio de la diferenciación, se reduce notablemente, especialmente con relación a la médula espinal; en las vesículas cerebrales el lumen endimario guarda relación proporcional con la expansión de las paredes del cerebro para formar los ventrículos cerebrales. La capa externa o marginal se engruesa por el crecimiento secundario de los procesos dendríticos y axonales los cuales se van disponiendo de manera longitudinal a lo largo de la médula espinal. En el encéfalo se disponen en la parte más profunda. Estos procesos fibrilares se rodean de una cubierta rica en mielina, adquiriendo un color blanquecino e integrando la denominada **sustancia blanca**.



Figura Tej. nerv. 22. Sección transversal del tubo neural. Se observan, de adentro hacia fuera, la luz endimaria, la capa endimaria, la capa marginal. En la capa de manto se esbozan las placas alares y basales. También se visualizan las placas del techo y del piso. Hyttel, P., Sinowats, F. y Vejlsted, M. 2010.

La adición o incorporación continua de nuevos neuroblastos, a la capa de manto o intermedia, engrosa de manera notable las porciones ventral y dorsal de cada lado. Al engrosamiento ventral se le conoce como **placa basal**, contiene neuroblastos que se diferenciarán en neuronas efectoras (motoras o secretoras), cuyas prolongaciones axónicas originan las fibras nerviosas efectoras. Al engrosamiento dorsal también se le denomina **placa alar**; sus neuroblastos se diferencian en neuronas que reciben estímulos provenientes de neuronas ganglionares sensitivas cuyas terminaciones nerviosas aferentes provienen de la piel, articulaciones y músculos (fibras aferentes somáticas) y de la faringe y de las vísceras (fibras nerviosas viscerales).

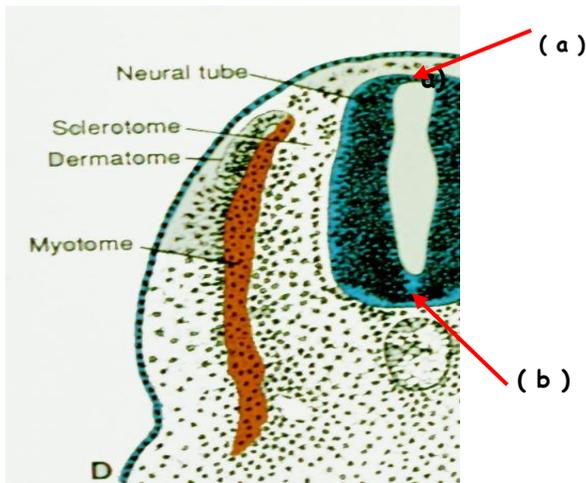


Figura Tej. Nerv. 23. Representación esquemática de una sección transversal de tubo neural. Las flechas indican a) la placa del techo y b) la placa del piso. Lagman, Embriología Médica. 8ª edición.

Las modificaciones en crecimiento de la capa de manto en sus regiones dorsal y ventral y la disminución consecuente del conducto endimario genera, en la porción dorsal un tabique conjuntivo que separa en dos zonas la capa de manto dorsal, el tabique recibe el nombre de **fisura y/o septo dorsal**. En la región ventral el crecimiento de las porciones laterales de la capa de manto forman una **fisura o surco ventral**. Los escasos neuroblastos que se localizan entre ambas porciones laterales dorsales y ventrales del septo dorsal y del surco ventral forman las **placas del techo y del piso**, respectivamente.

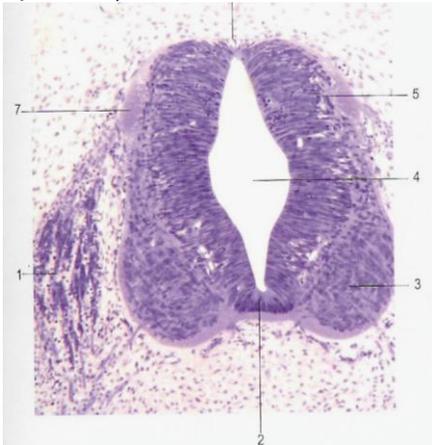


Figura Tej. Nerv. 24. Fotomicrografía de una sección transversal del tubo neural. Se distingue la diferencia de población celular de neuroblastos entre las placas alares y las basales y el esbozo de un ganglio espinal (lado izquierdo). Hyttel, P, Sinowats, F. y Vejlsted, M. 2010.

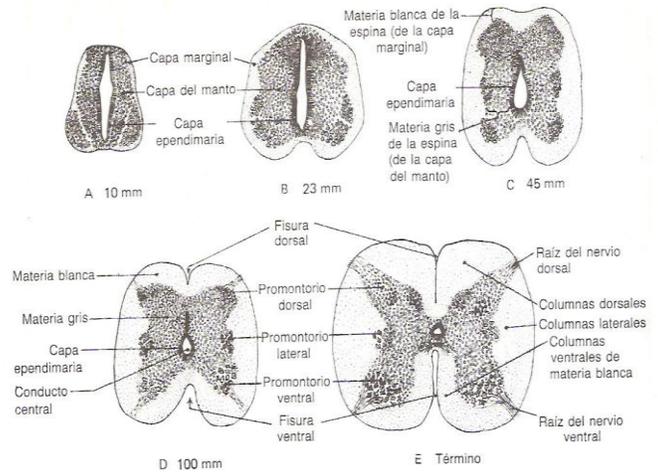


Figura Tej. Nerv. 25. Representación esquemática de la secuencia ontogénica de la diferenciación de la médula espinal desde la etapa de tubo neural hasta la estructura morfológica tisular. Patten, B.M. y Carlson B.M. 1990.

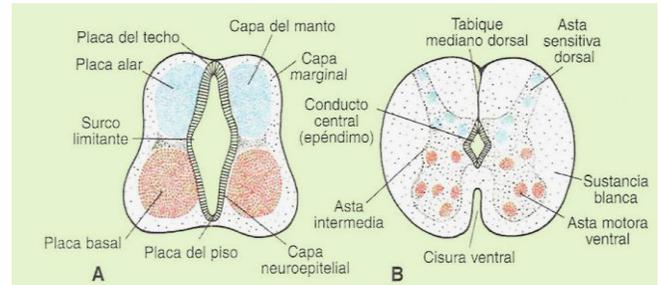
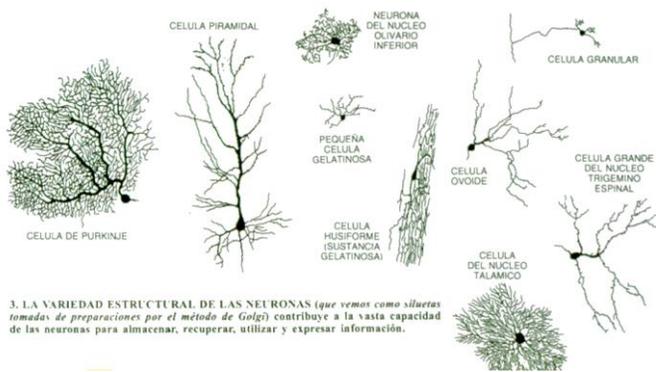


Figura Tej. Nerv. 26. Representación esquemática de la transformación de las placas alares y basales en las astas sensoriales y motoras de la médula espinal. Lagman, Embriología Médica. 8ª edición.

Componentes celulares del tejido Nervioso.

Como todo tejido, el nervioso está formado por células, las cuales integran dos tipos de poblaciones celulares: a) **Neuronas**, células altamente especializadas, relacionadas entre sí y con otras células del organismo a través de sus prolongaciones: axones y dendritas y un conjunto de células que intervienen en varias funciones de sostén para las neuronas. b) **Células de glía o neuroglía**. Entre los cuerpos o somas celulares de las neuronas y las células gliales existen componentes tisulares, escasa cantidad de tejido conjuntivo, vasos sanguíneos y las prolongaciones de las células nerviosas que, en conjunto integran, el denominado **neuropilo**.



3. LA VARIEDAD ESTRUCTURAL DE LAS NEURONAS (que vemos como siluetas tomadas de preparaciones por el método de Golgi) contribuye a la vasta capacidad de las neuronas para almacenar, recuperar, utilizar y expresar información.

Figura Tej. Nerv. 27. Representación esquemática de diversos tipos de formas neuronales.

Durante el desarrollo embriológico del individuo se generan y diferencian una gran cantidad de neuronas y adoptan diversos tamaños y formas (fig. Tej. Nerv. 27) Se calcula que al nacer un ser humano posee aproximadamente 14,000 millones de neuronas. Después del nacimiento, el número de ellas no sufre variación en cuanto al aumento de la población (no es posible observar en el tejido nervioso maduro mitosis neuronales), pero si empieza a decrecer el número total.

En la especie humana después del nacimiento existen poblaciones neuronales que prosiguen su diferenciación y especialización así como el establecimiento de mayor número de contactos con otras neuronas pertenecientes al sistema nervioso central o al periférico. De esta manera, el humano recién nacido va coordinando paulatinamente, sus funciones especialmente motoras y de relación, (es una especie "nidófila"), Otras especies animales nidófilas son los caninos, felinos, roedores como las ratas y ratones; conejos; aves como las palomas, águilas, etc. a diferencia de otras especies animales que a los pocos instantes de nacer ya son capaces de desplazarse de un lugar a otro, o si existe alimento en torno a ellos pueden alimentarse solos (son especies "nidífugas"), por ejemplo un potrillo, un ternero o un pollito.

La especialización precoz que presentan las neuronas impide que la población neuronal se restituya cuando alguna neurona muere. La muerte de las neuronas se incrementa de manera notable después de los 20 años de edad. Se calcula que entre esa edad y los 70 años mueren aproximadamente 100,000 neuronas por día. En los ancianos es notorio el deterioro de una serie de funciones relacionadas con el sistema nervioso. Se presenta incoordinación de sus movimientos, el traslado de un lugar a otro se produce en forma lenta y temblorosa, disminuyen sus facultades visuales, auditivas y mentales, etc.

ESTRUCTURA MICROSCÓPICA DE LA NEURONA.

Una neurona está constituida por los mismos componentes de cualquier célula: membrana celular, núcleo, citoplasma y organelos. Estas estructuras, a su vez, se disponen en el cuerpo o soma neuronal y en las prolongaciones: dendritas y el axón.

Las neuronas son de diferentes tamaños. Suelen ser muy grandes como las neuronas motoras de la médula espinal que suelen medir de 80 a 120 micrómetros de diámetro o muy pequeñas como las neuronas de la capa de los granos del cerebelo que miden 3 a 4 micrómetros de diámetro (fig. Tej. Nerv. 27).

La mayoría de las neuronas están constituidas por un cuerpo celular, varias dendritas y un solo axón o cilindro eje.

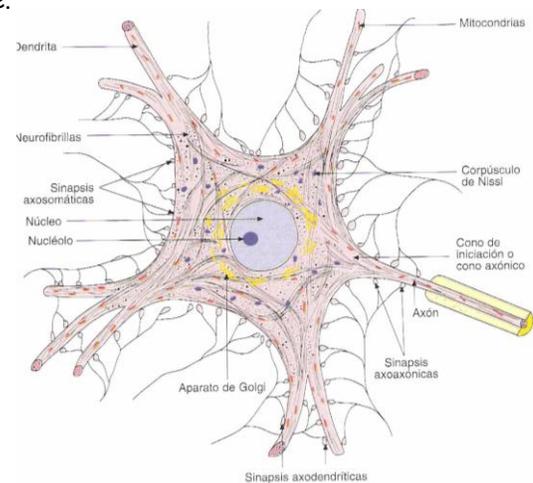


Figura Tej. Nerv. 28. Dibujo de una neurona mostrando los diversos componentes citoplasmáticos, las prolongaciones axónica y dendríticas y sus relaciones sinápticas.

Cuerpo neuronal. También se le denomina *pericarion* o *soma*. Es la porción central de la célula. Dependiendo de la forma que adopta el cuerpo neuronal se pueden describir varias formas de neuronas: pueden ser estrelladas o poliédricas (como las neuronas motoras del asta anterior de la médula espinal), fusiformes (neuronas fotorreceptoras de la retina o del órgano de Corti del oído interno), piramidales (como las de la corteza cerebral), piriformes (neuronas de Purkinje del cerebelo), redondeadas o esféricas (de la capa de los granos del cerebelo o las de los ganglios nerviosos cefalorraquídeos) (ver figura Tej. Nerv. 27).



Figura Tej. Nerv. 29. Representaciones esquemáticas del soma o cuerpo neuronal, observado a través del microscopio electrónico. Histología Básica. Junqueira y Carneiro.

En el interior del cuerpo neuronal se localiza un núcleo, voluminoso y esférico, de cromatina laxa (eucromatina), generalmente de posición central, que contiene a un nucleolo visible con una intensa tinción basófila (figs. Tej. Nerv. 28, 29 y 30) Alrededor del núcleo se visualizan grupos de material oscuro, basófilo, denominados en conjunto, **sustancia Nissl** que son la representación, a través del microscopio electrónico, del retículo endoplásmico rugoso y de **polirribosomas**. Los grupos de sustancia Nissl se continúan con los conos de nacimiento de las dendritas, en cambio el cono de inicio del axón carece de ellos (ver fig. Tej. Nerv. 30A, flecha roja).

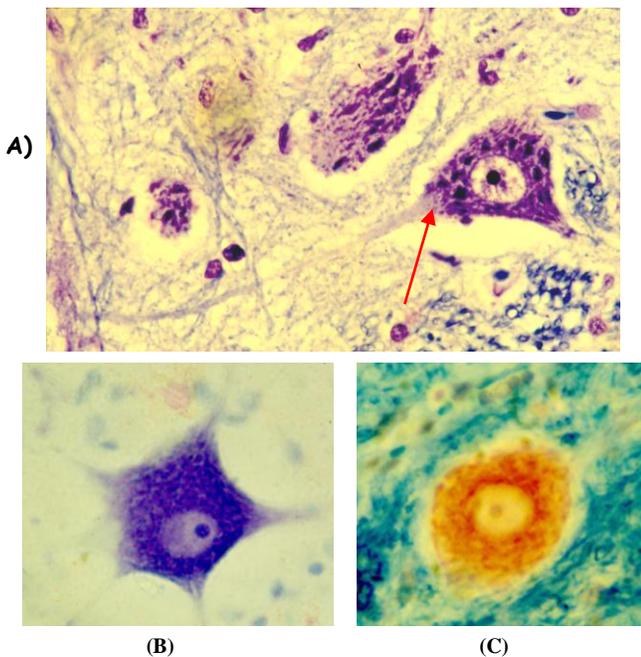


Figura Tej. Nerv. 30. Fotomicrografías de neuronas mostrando la sustancia Nissl. A) Neurona multipolar de la médula espinal, tinción de Kluver Barrera (Luxol fast blue y violeta de cresilo), B) Neurona multipolar teñida con azul de toluidina y C) Neurona del bulbo cefalorraquídeo, coloreada con Darrow red y luxol Fast blue. En todas ellas se observa la sustancia Nissl y el núcleo pleno de eucromatina y un nucleolo prominente.

En todo el citoplasma neuronal existen cisternas cortas y delgadas de retículo endoplásmico liso, generalmente localizadas por debajo del plasmalema, que contienen o secuestran calcio y algunas proteínas. Se considera que estas cisternas intervienen en el transporte y distribución de proteínas hacia toda la célula.

El cuerpo neuronal contiene un **aparato de Golgi** bastante desarrollado y prominente que también adopta una disposición perinuclear (fig. Tej. Nerv. 31). Este organelo está constituido por una serie de dictiosomas cuyas cisternas más externas están ligeramente dilatadas por la presencia de una serie de proteínas (neurotransmisores y enzimas) sintetizadas.

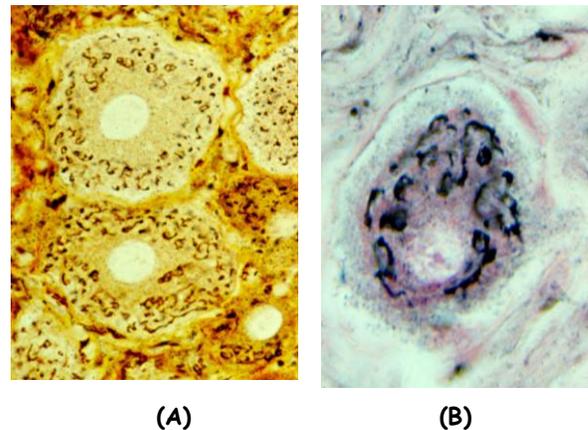


Figura Tej. Nerv. 31. Fotomicrografías de neuronas mostrando la presencia de los dictiosomas del aparato de Golgi. A) Neuronas de un ganglio raquídeo. Impregnación argéntica de D' Fano. Se observa la imagen negativa del núcleo. B) Neurona de un ganglio visceral. Impregnación argéntica de D'fano virada con cloruro de oro y tinción de contraste con rojo nuclear. C) Neurona motora de la médula espinal, demostrada con la técnica de la figura B. Los núcleos muestran una imagen negativa.

El citoplasma contiene abundantes mitocondrias esféricas u ovaladas, diseminadas en el cuerpo neuronal, las dendritas y los axones. Son más abundantes en las terminaciones levemente dilatadas o bulbosas de los axones (fig. Tej. Nerv. 32) Se considera que intervienen activamente en la transmisión de los impulsos nerviosos. Se ha demostrado que las mitocondrias se mueven constantemente por todo el citoplasma mediante un movimiento de ciclosis.



Figura Tej. Nerv. 32. Fotomicrografía de un soma neuronal y de sus prolongaciones a) axónica y b) dendrítica. La membrana celular de estos componentes celulares muestran como puntitos pardo-oscuros las sinapsis establecidas en el soma, una dendrita y el axón correspondientes.

También existen lisosomas; microfilamentos intermedios y microtúbulos, que en conjunto y mediante impregnación argéntica se les denominó antiguamente neurofibrillas (Figura Tej. Nerv. 33A) o la demostración de filamentos intermedios mediante reacción inmunohistoquímica como se observa en la figura Tej. Nerv. 33 B.

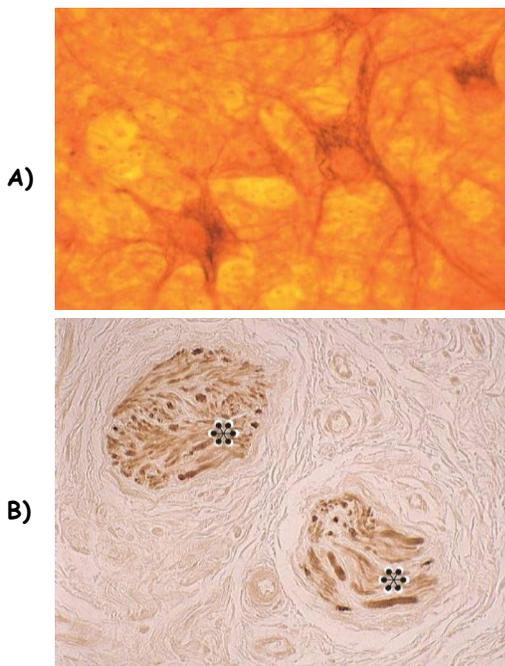


Figura Tej. Nerv. 33. Fotomicrografías de A) neuronas mostrando en el citoplasma neurofibrillas (color pardo oscuro) Impregnación argéntica. 450x y B) prolongaciones axónicas en las cuales se detectó la presencia de neurofilamentos demostrados mediante tinción inmunohistoquímica en nervios periféricos 260x. Welsch y Sobotta. . Histología 5ª edición, páginas 179 y 69, respectivamente

En varios tipos de neuronas como las que integran la "sustancia nigra" del mesencéfalo se observa la presencia de gránulos de melanina (Fig. Tej. Nerv. 34 A). En neuronas de ganglios raquídeos (de personas de edad avanzada) es frecuente la presencia de pigmentos de lipofuscina denominado también "pigmento de desgaste" o "de la vejez"

(fig. Tej. Nerv. 34B) que muchas veces, por la cantidad existente, suelen desplazar el núcleo hacia la periferia.

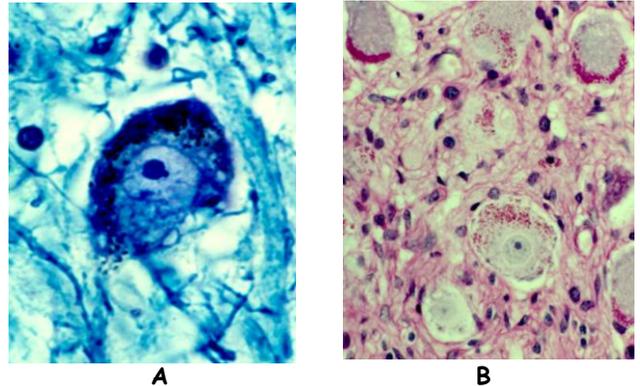


Fig. Tej. Nerv. 34. A) Fotomicrografía de una neurona localizada en la sustancia nigra del mesencéfalo conteniendo pigmento de melanina. B) Neuronas ganglionares raquídeas mostrando la presencia de lipofuscina (PAS+).

En el interior del pericarion, suelen observarse acumulaciones de gránulos de glucógeno y gotitas de lípidos.

El **núcleo** de las neuronas es voluminoso y prominente, generalmente ocupa la porción central del cuerpo neuronal pero existen casos en los cuales el núcleo se sitúa ligeramente excéntrico, especialmente en las neuronas ganglionares. Tiene una forma esférica, con contenido predominante de eucromatina; el nucleolo también es muy notorio. La disposición de la cromatina y la presencia del nucleolo motivo que se le designara con el apelativo de "núcleo en ojo de lechuza" como se observan en las imágenes de Tej. Nerv. 32, 34 y 35.

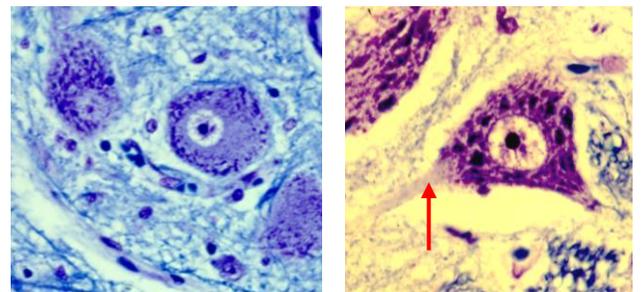
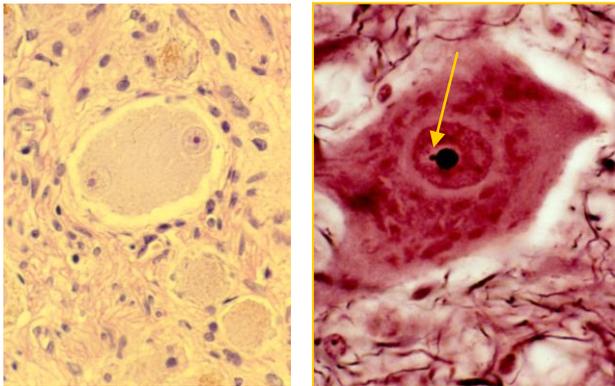


Figura Tej. Nerv. 35. Fotomicrografías fotónicas de cuerpos neuronales mostrando la apariencia morfológica de los núcleos

Es posible encontrar, cuando se examinan al microscopio, neuronas con dos núcleos (binucleadas), especialmente en las neuronas de ganglios nerviosos (fig. Tej. Nerv. 36A). Cuando la fijación y las tinciones se realizan de manera apropiada, se visualiza en las neuronas la cromatina sexual como una pequeña esfera intensamente basófila (flecha amarilla) unida a la superficie del nucleolo (Figura Tej. Nerv. 36B).

Prolongaciones neuronales. Desde el soma se extienden dos tipos de prolongaciones neuronales: dendritas y el

cilindro eje o axón (fig. Tej. Nerv. 37) Se les conoce también con el nombre de fibras nerviosas.



(A)

(B)

Figura Tej. Nerv. 36. Fotomicrografías de A) neurona ganglionar binucleada y B) neurona motora mostrando la cromatina sexual.

Cualquiera que sea el número de prolongaciones que presente la neurona, una de ellas siempre será un axón.

Axón. También se le conoce con el nombre de *cilindro eje* o *neurita*. Es una prolongación larga, cilíndrica y delgada, de diámetro uniforme y con escasas ramificaciones laterales. En cambio, su extremo distal puede ramificarse de manera profusa (el telodendrón). El extremo de las ramificaciones se dilata para formar los llamados *botones terminales* o *sinápticos*.

La longitud de los axones es variable, generalmente es mayor que el de las dendritas; algunos de ellos pueden alcanzar hasta un metro o más de longitud, por ejemplo, el axón de las neuronas motoras de la médula espinal de las regiones cervical y sacra encargadas de inervar los músculos de los dedos de la mano o del pie.

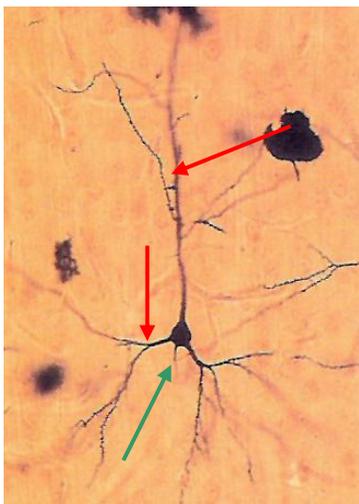
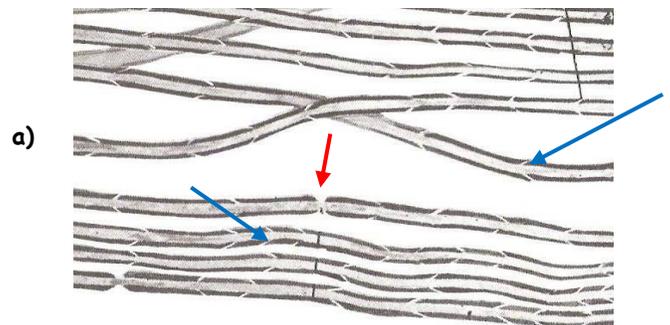


Figura Tej. Nerv. 37. Neurona piramidal de la corteza cerebral. Se observan: el cuerpo neuronal piramidal, las prolongaciones dendríticas, cada una de ellas emergen de los vértices de soma neuronal para ramificarse inmediatamente (flechas rojas) y el axón (flecha verde) que emerge de la base del cuerpo neuronal y casi no se ramifica.

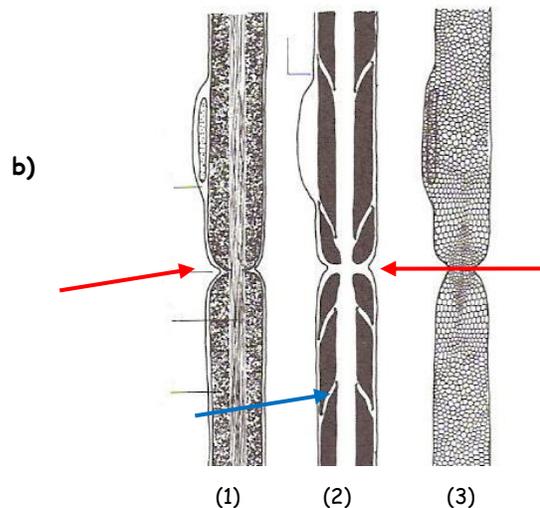
El axón se caracteriza por que desde su cono de nacimiento del soma neuronal y a lo largo de su extensión el citoplasma carece o contiene escasa cantidad de sustancia Nissl (fig. Tej. Nerv. 35).

El axón es la prolongación neuronal responsable de conducir el impulso o respuesta nerviosa desde el soma hacia la periferia. Son las terminaciones nerviosas eferentes o efectoras (de acción motora, secretora o de conexión interneuronal).

La capacidad de conducción del impulso nervioso de los axones depende de su grosor. Esta velocidad se relaciona directamente el grosor del mismo, por lo tanto se puede afirmar que la velocidad de conducción del impulso nervioso se incrementa conforme lo hace el diámetro del axón.



Dibujo de axones disecados longitudinalmente, rodeados de mielina. Se visualizan los nodos de Ranvier y las cisuras de Schmidt-Lantermann



Dibujos longitudinales de axones mostrando: 1) Coloreados con H-E. Obsérvese una célula de Schwann 2) Impregnación ósmica (demostración de mielina) y 3) Aspecto de la disposición de la "neuroproteína".

El grosor de los axones varía, pero es más o menos constante para cada tipo neuronal. Una de las causas que produce un incremento en el grosor de los axones es la presencia de una mayor cantidad de neurofilamentos.



Figura Tej. Nerv. 38. Dibujos (a y b) y fotomicrografía (c) de secciones longitudinales de fibras nerviosas mielinizadas (axones). Impregnación con tetraóxido de osmio y microdissección de los axones. 600x. Nodos de Ranvier: flechas rojas; Cisuras de Schmidt-Lantermann: flechas azules

El axón presenta tres porciones:

- A) **El segmento inicial**, que comprende desde el cono de nacimiento hasta donde se inicia la vaina de mielina. En esta zona se originan los potenciales de acción (señales eléctricas) del impulso nervioso de allí que también se le denomine **zona desencadenante de espigas de potenciales** de acción. En esta región igualmente se establecen las sinapsis aferentes de inhibición.
- B) **el segmento principal**, considerado el de mayor longitud, puede estar cubierto de mielina o no. De acuerdo a esto, los axones o fibras nerviosas pueden ser de tres tipos, cubiertas con vaina de mielina o con vaina de neurilema y fibras nerviosas desnudas. Es decir rodeadas o carentes de cubiertas que le forman células especiales de la glía (oligodendrocitos y células de Schwann).
- C) **el segmento terminal o telodendrón**, el cual se ramifica profusamente. Cada ramificación o terminación axoniana termina en una pequeña dilatación que recibe el nombre de **botón terminal** o **sináptico**.

La vaina de mielina le confiere a los axones un color blanco nacarado brillante cuando el tejido nervioso no está fijado. Esta característica permite distinguir en el sistema nervioso central a una **sustancia blanca** (axones mielínicos) y una **sustancia gris** (cuerpos neuronales y axones amielínicos).

A lo largo del recorrido del axón se desprenden ramas colaterales que lo hacen generalmente en ángulo recto, éstas terminan en escasas ramificaciones que pueden establecer uniones sinápticas con dendritas, otros axones u otros cuerpos neuronales.

La presencia de mielina alrededor de los axones permite que en éstos, el impulso nervioso se desplace con mayor rapidez que en los axones carentes de ella.

Otra de las funciones importantes que realizan los axones es el transporte de sustancias entre el soma y las ramificaciones axonianas. A este transporte se le conoce como axoniano. Puede ser de dos tipos: el **anterógrado** que consiste en el transporte de sustancias del cuerpo

neuronal hacia las ramificaciones y el transporte **retrogrado** que conduce sustancias desde las ramificaciones hacia el soma. El transporte axonal se realiza en tres velocidades: rápido, intermedio y lento.

El **transporte rápido** se produce en el desplazamiento de los organelos. Alcanza una velocidad de hasta 400 mm en 24 horas; se efectúa mediante el movimiento anterógrado. A través de este transporte se movilizan organelos, vesículas, macromoléculas proteínicas como la miosina, actina, clatrina y ciertas enzimas necesarias para sintetizar los neurotransmisores en las terminaciones axónicas.

El transporte retrogrado puede alcanzar una velocidad que varía entre los 0.2 mm diarios (**transporte lento**) hasta una velocidad de 200 mm cada 24 horas (**transporte intermedio**). Este transporte sirve para conducir al soma neuronal, proteínas que servirán para sintetizar las unidades estructurales de microtúbulos, neurofilamentos o aquellas que requieran ponerse en contacto con lisosomas para su degradación.

El **transporte axoniano** es de gran importancia para las funciones que deben realizar las células (musculares o glandulares) que hacen sinapsis con los botones sinápticos axónicos.

Dendritas. Las neuronas pueden tener una o más prolongaciones dendríticas. Son prolongaciones gruesas que conforme se alejan del cuerpo neuronal se ramifican profusamente y se van haciendo más delgadas (fig. nerv. 39). Son de recorrido corto. Junto con el soma constituyen e integran la mayor parte de la superficie receptora de la neurona. Las ramificaciones dendríticas constituyen un patrón de identificación y caracterización morfológica de las neuronas.

Las dendritas son las ramificaciones sensoriales o aferentes de las neuronas. Conducen el impulso nervioso de la periferia hacia el cuerpo de la neurona.

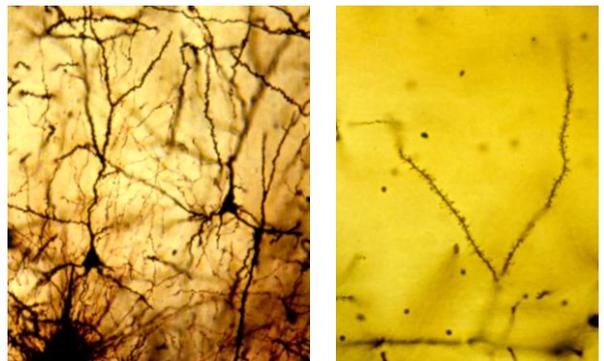


Figura Tej. Nerv. 39. Fotomicrografías de neuronas de la corteza cerebral mostrando: a) Cuerpos neuronales y sus prolongaciones dendríticas y axónicas 250x; b) Prolongaciones dendríticas las cuales exhiben las espinas dendríticas 800x. Impregnación argéntica de Camilo Golgi

A lo largo de las dendritas se emiten una serie de pequeñas prolongaciones celulares denominadas "espinas dendríticas" que le permiten a la célula establecer numerosos contactos sinápticos con otras neuronas, por ejemplo, ciertas neuronas del cerebelo, denominadas de Purkinje, establecen miles de sinapsis con otras neuronas.

La cantidad de espinas dendríticas está relacionada con una buena nutrición que reciban los niños en la vida intrauterina y en los primeros años de la vida postnatal. El número de ellas disminuye con la edad del individuo.

En el citoplasma de las dendritas y en sus conos de nacimiento existen numerosos grumos de la sustancia Nissl (fig. Tej. Nerv. 30 y 35). Así como una gran cantidad de mitocondrias esféricas; En cambio es notoria la escasa cantidad de neurofilamentos y microtúbulos.

Tipos de neuronas. Dependiendo del número de prolongaciones pueden adoptar diferentes formas (fig. nerv. 40) y se clasifican en:

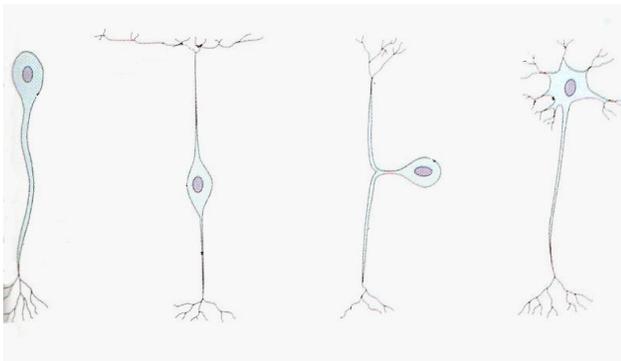


Figura Tej. Nerv. 40. Representación esquemática de los diferentes tipos de neuronas según sus prolongaciones, de izquierda a la derecha: monopolares, bipolares, pseudomonopolares y multipolares.

A) **monopolares**, poseen una sola ramificación que se desprende del soma. Son más comunes en invertebrados. En vertebrados se observan en etapas embrionarias.



Figura Tej. Nerv. 41. Fotomicrografías de neuronas ganglionares raquídeas. Se observan los cuerpos neuronales de color pardo oscuro y la presencia de la emisión de una sola prolongación. (neuronas pseudomonopolares).

B) **pseudomonopolares**, se denominan así porque, inicialmente, del cuerpo neuronal emerge una sola prolongación que, después de un corto recorrido se

ramifica en dos, una rama periférica o somática la cual se dirige a células del cuerpo y una rama central que penetra al sistema nervioso central. La rama somática se arboriza y capta estímulos los cuales son conducidos a la rama central sin pasar por el cuerpo de la neurona. Este tipo de neuronas se localiza en los ganglios de la raíz dorsal de la médula espinal y en algunos ganglios cerebrales (Figura Tej. Nerv. 40 y 41, 41 a)

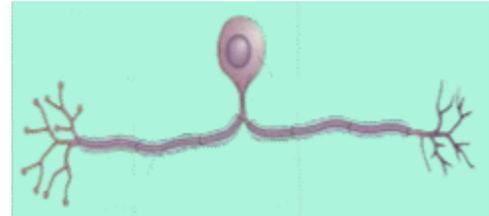


Figura Tej. Nerv. 41 a. Representación esquemática de una neurona pseudomonopolar

C) **bipolares**, poseen dos ramificaciones que emergen del cuerpo neuronal, una dendrita y un axón. Se localizan en la retina, en la capa de neuronas bipolares, en el epitelio olfatorio de las fosas nasales (Figura tej. Nerv. 42) y en los ganglios vestibular y coclear del oído interno. En la especie humana y en otros vertebrados, los conos y bastones (fotorreceptores) de la retina son un ejemplo de este tipo de neuronas.

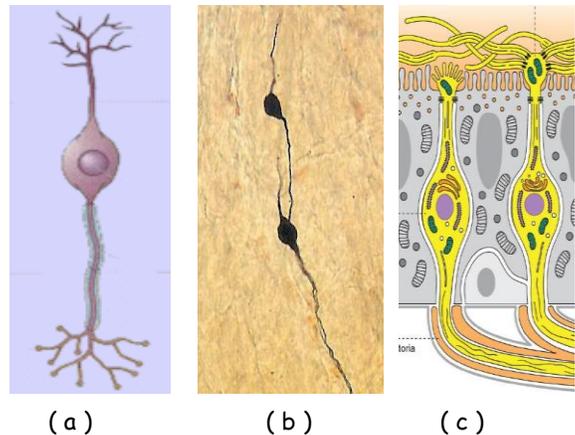


Figura Tej. Nerv. 42. Neuronas bipolares: a) Representación esquemática; b) del bulbo olfatorio. b) Esquema del epitelio olfatorio, en amarillo neuronas olfatorias.

D) **multipolares**, Son las neuronas existentes en mayor cantidad en el sistema nervioso. Pueden presentar varias o numerosas dendritas y siempre un solo axón (Fig. Tej. Nerv. 43 A, B, C, y D). Como ejemplos se pueden señalar las motoras de la médula espinal, las piramidales de la corteza cerebral y las neuronas ganglionares viscerales.

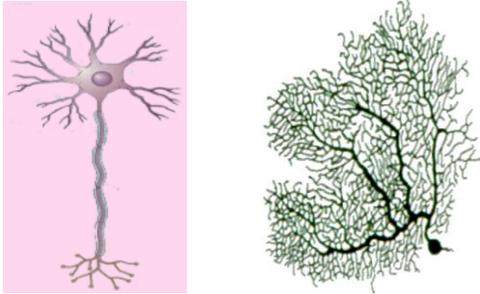


Figura Tej. Nerv. 43. Dibujos representando una neurona motora de la médula espinal y una neurona de Purkinje del cerebelo.

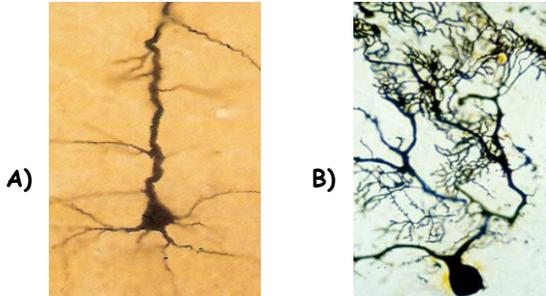


Figura Tej. Nerv. 43 A y B. Fotomicrografías de Neurona piramidal y neurona de Purkinje. Impregnación argéntica de camilo Golgi. 600x

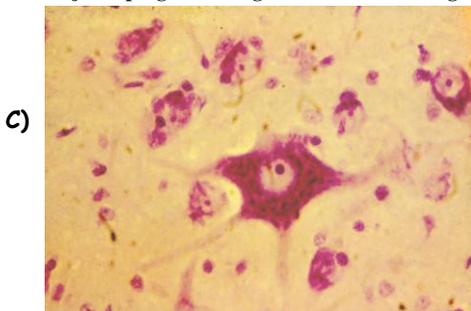


Figura Tej. Nerv. 43 C. Fotomicrografía de neurona motora de la médula espinal. 600x

Las neuronas también se pueden clasificar de acuerdo a la manera como intervienen en la función nerviosa (figura tej. Nerv. 44) en:

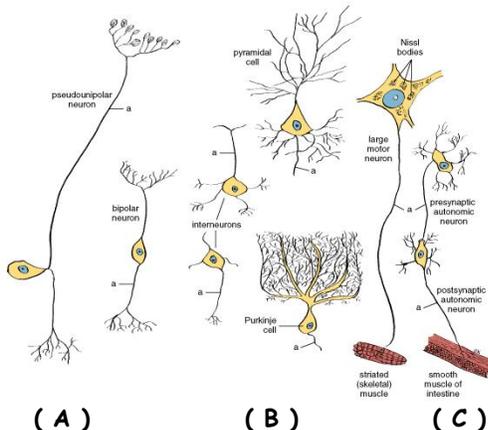


Figura Tej. Nerv. 44. Comparación entre el soma neuronal y sus prolongaciones nerviosas de los tres tipos de neuronas que existen en el tejido nervioso: a) sensitivas, sensoriales o aferentes, b) de asociación, internunciales o de asociación y c) motoras-secretoras o eferentes.

A) neuronas aferentes o sensitivas, son aquellas que, a través de sus prolongaciones, captan los estímulos desde la periferia y los conducen al sistema nervioso central. Los estímulos captados pueden ser externos, relacionados con las modificaciones que se producen en el ambiente o internos, generados por el funcionamiento de órganos.

B) neuronas de asociación o internunciales, denominadas así por estar situadas entre las neuronas aferentes y eferentes. Se localizan dentro del SNC o integrando ganglios nerviosos viscerales o intramurales, e intervienen como estaciones de relevo o integradoras que establecen relaciones o redes de circuitos neuronales entre las neuronas sensitivas y las eferentes.

C) neuronas eferentes o eferentes: motoras o secretoras. Son aquellas que conducen la respuesta eferente, desde el sistema nervioso central hacia células o tejidos periféricos donde, dependiendo de las células que reciben el impulso nervioso, lo traducen en una respuesta de contracción o de secreción.

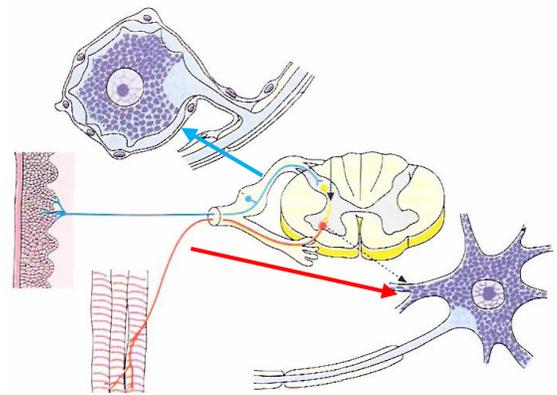


Figura Tej. Nerv. 45. Representación esquemática de la correlación existente entre neuronas aferentes (azul), de interconexión (amarilla) y eferentes (roja) en un arco reflejo.

Sustancia gris y sustancia blanca. Tal como se afirmó en párrafos anteriores, cuando se observa una sección anatómica del sistema nervioso, es posible distinguir dos zonas que presentan aspectos diferentes.

En los lugares donde existen concentraciones abundantes de neuronas el tejido nervioso muestra un color ligeramente gris ("sustancia gris") y, en los lugares donde las fibras nerviosas están recubiertas de mielina el tejido exhibe un color blanco nacarado ("sustancia blanca") En el encéfalo la sustancia gris tiene posición externa y la sustancia blanca se sitúa internamente. En la médula espinal la disposición de la sustancia gris y la blanca se invierte. Observar las imágenes de las figuras Tej. Nerv. 46, secciones sagitales de cerebelo y Tej. Nerv. 47. Secciones transversales de médula espinal.

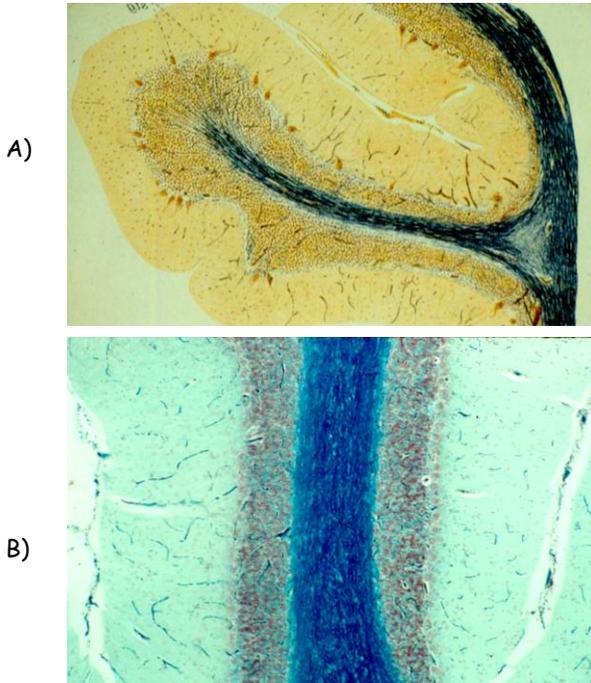


Figura Tej. Nerv. 46. Fotomicrografías de secciones sagitales de cerebelo. A) Tinción de la mielina (color negro) mediante la hematoxilina de Weighert 100x. La mielina (sustancia blanca) ocupa una posición central y la sustancia gris, periférica, muestra abundancia de cuerpos neuronales. (color amarillento parduzca). B) La tinción es la de Kluver-Barrera (mielina de color azul) y tanto la capa de los Granos y de las neuronas de Purkinje integran la sustancia gris. 200x

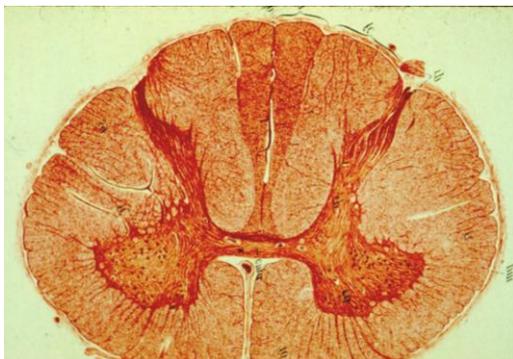
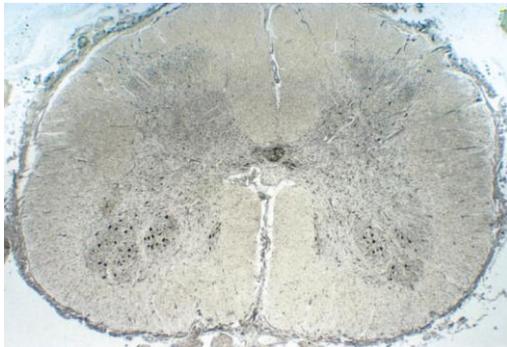


Figura Tej. Nerv. 47. Sección transversal de la médula espinal: Se observan: La sustancia gris de posición central constituida por las astas sensitivas y motoras (los puntitos negros son cuerpos neuronales) y la sustancia blanca, de posición periférica, recubierta por las meninges.

Sinapsis. Los impulsos nerviosos captados deben ser conducidos de una neurona a otra para garantizar la continuidad y efectividad del mismo o de una neurona a una célula efectora para que se complete el circuito funcional o respuesta al estímulo. Para tal fin, las ramificaciones dendríticas o axónicas deben ponerse en estrecho contacto con otras ramificaciones neuronales o con el soma de otras neuronas o de células efectoras (Figura tej. Nerv. 48). El lugar de contacto se conoce con el nombre de **sinapsis**.

La transmisión de los impulsos nerviosos a través de las sinapsis se realiza bajo dos modalidades: de tipo eléctrico y de tipo químico.

Las **sinapsis eléctricas** son escasas en los mamíferos. En vertebrados acuáticos existen en mayor cantidad. Estas sinapsis se caracterizan porque el impulso se transmite mediante uniones tipo nexo o comunicantes. A través de las hendiduras de los conexones fluyen libremente iones desde una célula a otra vecina. El resultado de este flujo es la creación de una corriente eléctrica que se transmite de una neurona a otra. La transmisión del impulso nervioso es mucho más rápida en una sinapsis eléctrica que en una química.

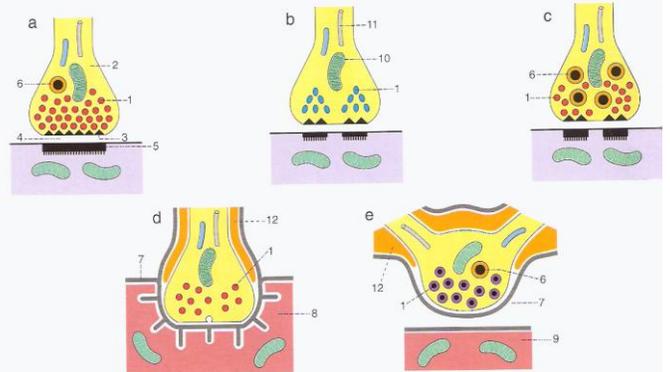


Figura Tej. Nerv. 48. Esquema que muestra los diversos tipos de sinapsis que se establecen entre los componentes neuronales. Welsch y Sobotta. . Histología 5ª edición

Las **sinapsis químicas** son las más frecuentes en los mamíferos. Morfológicamente, este tipo de comunicación sináptica está constituido por tres partes (fig. Tej. Nerv. 49):

- A) Terminal o membrana presináptica.
- B) Hendidura intersináptica.
- C) Terminal o membrana postsináptica.

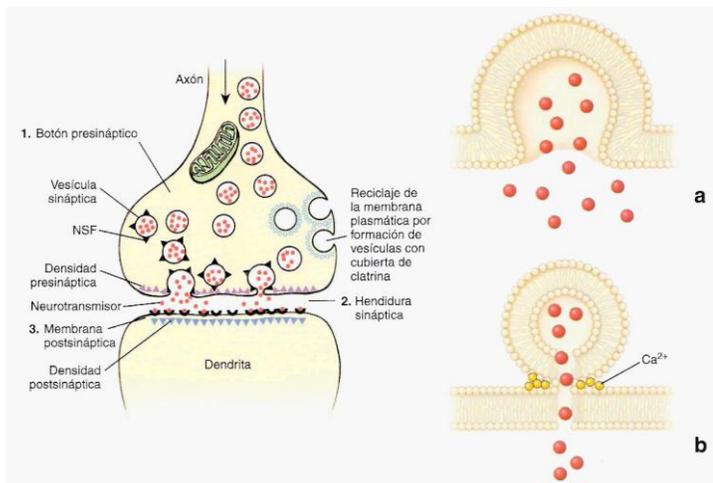


Figura Tej. Nerv. 49. Representación esquemática de los componentes de una sinapsis, observada a través del microscopio electrónico. a) Inicio del reciclaje de los componentes de un neurotransmisor b) formación de una vesícula endocítica con la presencia y actividad de iones de calcio. Welsch y Sobotta. . Histología 5ª edición

La terminal presináptica generalmente está constituida por las ramificaciones axónicas conocidas como **botones terminales**, en cuyo interior albergan una serie de vesículas membranales (*vesículas sinápticas*) que contienen sustancias químicas llamadas **neurotransmisores** (Figura 48, 49 y 50).



Figura Tej. Nerv. 50. Fotomicrografía electrónica de una sinapsis axo-axónica. Se observa un botón sináptico (1) conteniendo abundantes vesículas sinápticas y la relación que se establece con una zona del axón, ésta contiene una mitocondria y abundantes secciones transversales de microtúbulos. Welsch y Sobotta. . Histología 5ª edición

Los neurotransmisores son sustancias que se liberan, hacia la hendidura sináptica (mide entre 20 a 30 nm). Cuando el impulso nervioso llega a la terminal presináptica, Inmediatamente los neurotransmisores se difunden a través de la hendidura sináptica, hasta situarse en receptores membranales de canales iónicos localizados en la membrana de la terminal postsináptica, como se representa en la figura Tej. Nerv. 49.

Los neurotransmisores fijados a los receptores inician la apertura de estos canales facilitando el paso de ciertos iones que alteran la permeabilidad de la membrana postsináptica y generan una despolarización de la misma; se inicia, en consecuencia, un potencial de acción que permitirá que el impulso nervioso prosiga su recorrido (potencial postsináptico excitatorio) o, si el estímulo sináptico conserva el potencial eléctrico de la membrana sin que ésta experimente despolarización, el estímulo detiene su recorrido (potencial postsináptico inhibitorio). La duración de este proceso es de algunos milisegundos.

Los neurotransmisores tienen una actividad excitatoria, cuando activan la neurona siguiente o una actividad inhibitoria, es decir que el neurotransmisor impide que el estímulo prosiga a la célula vecina. La **acetilcolina** y la **adrenalina** son sustancias excitadoras, en tanto que el **ácido gammaaminobutírico (GABA)** es una sustancia inhibitoria.

Las sustancias que estimulan o inhiben la actividad nerviosa se consideran sustancias de señalamiento que pueden actuar como neurotransmisores, es decir que intervienen directamente abriendo canales iónicos o como neuromoduladores, que activan primero sustancias citoplasmáticas contenidas en la célula estimulada (proteína g o las cinasas de los receptores membranales) y éstas a su vez actúan como segundos mensajeros.

El efecto de las sustancias de señalamiento dura menos de un milisegundo, en cambio el efecto de los neuromoduladores pueden tener una duración de varios minutos.

De acuerdo a su naturaleza los **neurotransmisores** son de tres tipos:

A) Pequeñas moléculas transisoras, las cuales son, a su vez:

- ♦ **Aminoácidos** como el glutamato, el aspartato, la glicina y el ácido gamma - aminobutirico (GABA).
- ♦ **Sustancia no-aminoácido**: la acetilcolina.
- ♦ **Aminas biógenas**: una monoamina, la serotonina y tres catecolaminas: adrenalina, noradrenalina y dopamina.

B) Neuropéptidos: muchos de ellos actúan como neuromoduladores, son conocidos también como neurohormonas. Son las sustancias que sintetizan y secretan ciertas células endocrinas, pertenecientes al sistema endocrino difuso (péptidos intestinales: gastrina, neurotensina etc.), o neuronas del hipotálamo (hormonas liberadoras de somatostatina y tirotrina, o la oxitocina y la vasopresina) o de otras porciones del encéfalo (encefalinas y endorfinas).

C) Gases: Recientemente se ha demostrado que ciertos gases como el óxido nítrico (NO) y el monóxido de carbono (CO) actúan como neuromoduladores.

Tipos de sinapsis. Las sinapsis que se establecen entre el soma neuronal y las prolongaciones dendríticas y axónicas son las siguientes, ver la figura Tej. Nerv. 48:

- A) **Axosomáticas**, entre un axón y el cuerpo neuronal o el de una célula efectora.
- B) **Axodendríticas**, entre un axón y dendrita
- C) **Axoaxónicas**, entre axones
- D) **Dendrodendríticas**, entre dendritas
- E) **Somasomáticas**, entre dos cuerpos neuronales

Neurotransmisores y funciones que ejercen en sus receptores.

Neurotransmisor	Compuesto químico	Función
Acetilcolina	No-aminoácido	- Unión neuromuscular. - Sinapsis parasimpáticos y simpáticas preganglionares.
Noradrenalina	Catecolamina	- Sinapsis simpáticas posganglionares.
Ácido glutámico	Aminoácido	- Sensitiva presináptica. - Excitatorio del SNC.
Ácido γ - aminobutírico. (GABA)	Aminoácido	- Inhibitorio del SNC.
Dopamina	Catecolamina	- Inhibitoria de ganglios basales del SNC.
Serotonina	Monoamina	- Inhibe el dolor, produce sueño, controla el humor.
Glicina	Aminoácido	- Inhibitoria en la médula espinal.
Endorfinas	Péptidos opioides	- Analgésicos, inhiben el dolor.
Encefalinas	Péptidos opioides	- Analgésicos, inhiben el dolor.

Transmisión del impulso nervioso.

Una de las funciones celulares más desarrolladas de la neurona es la irritabilidad. Gracias a ella la neurona capta estímulos y elabora una respuesta, en milésimas de segundo, al originar y conducir impulsos eléctricos o **potenciales de acción**. Se transforma así, de una célula inactiva o en reposo en una que genera y conduce un impulso eléctrico.

El estado de reposo o de actividad de una neurona depende de las concentraciones de dos iones, el Na y el K, que existan en el líquido extracelular o en el plasma neuronal, separados ambos por la membrana celular. La variación de estas concentraciones hace que el potencial eléctrico también se modifique fuera o dentro de la neurona. La

neurona, por lo tanto, actúa como un pequeño generador eléctrico que utiliza la glucosa como sustancia energética. La energía que genera se mide en milivoltios.

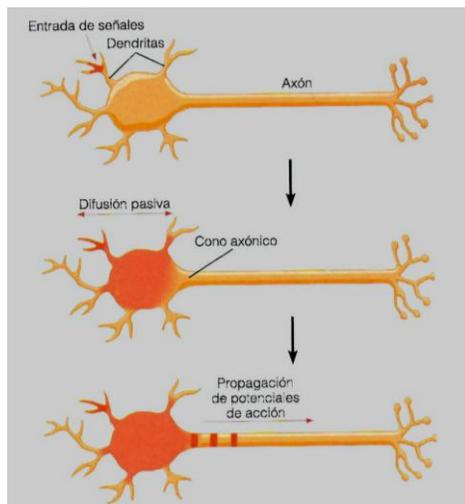


Figura Tej. Nerv. 51. Esquema que representa el potencial de reposo en un axón y como se produce la despolarización de la membrana para que produzca la propagación del potencial de acción. El color rojo indica el impulso nervioso. (ver detalles en la figura tej. Nerv. 52) Becker W et al. El mundo de la célula. 2007

Cuando una neurona en reposo es estimulada sucede en ella un cambio importante, Si la neurona es estimulada en el inicio de sus dendritas la trasmisión del impulso se realiza de manera pasiva a través del soma neuronal hasta llegar al cono axónico, lugar donde se genera un potencial de acción porque al modificarse la permeabilidad de la membrana propicia que penetre una gran cantidad de iones de sodio y se escapan iones de potasio. Esta acción produce La despolarización de la membrana es decir, en el punto de la estimulación el potencial de la membrana en reposo cambia por lo que se hace positiva en el interior y negativa en el interior (Fig. Tej. Nerv. 51 y 52).

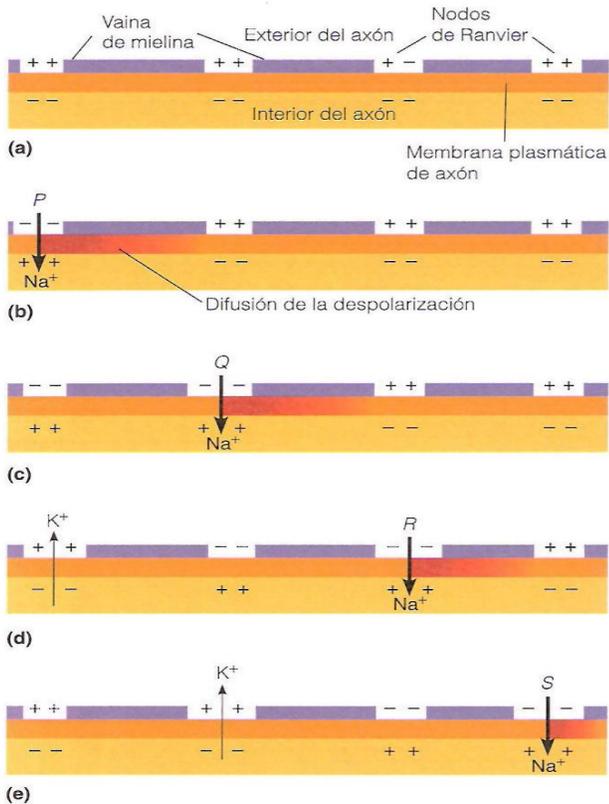


Figura Tej. Nerv. 52. Esquema mostrando las modificaciones que ocurren en la membrana axónica para generar un potencial de acción. Becker W et al. El mundo de la célula. 2007

Células de Neuroglia o células gliales

El tejido nervioso también está integrado por un conjunto de células que no desarrollan una función de captación y conducción de estímulos pero que intervienen de manera activa en:

- ◆ Realizar funciones de intercambio metabólico.
- ◆ La producción de líquido cefalorraquídeo.
- ◆ Generar la cubierta de mielina (aislante eléctrico) o neurilema de los axones para favorecer la transmisión del impulso nervioso.
- ◆ Funciones fagocíticas y de captación de antígenos.

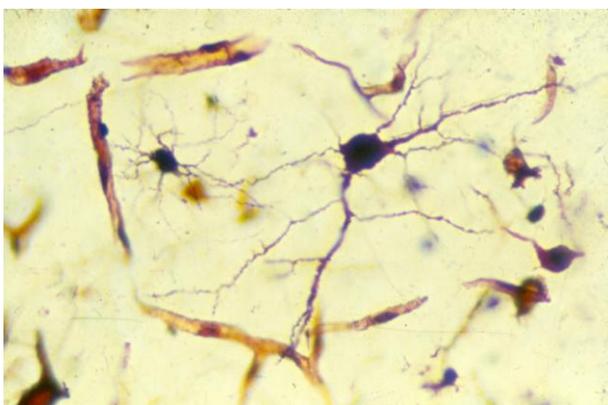


Figura Tej. Ner. 53. Fotomicrografía de una neurona (centro de la imagen), un astrocito (izquierda de la imagen) y un oligodendrocito (derecha de la imagen). Impregnación argéntica de Golgi. 400x Comparar con el esquema Tej. Nerv. 55

El proceso dura menos de un milisegundo y el potencial de acción generado se propaga con rapidez a lo largo de la fibra nerviosa no mielinizada. En el caso de fibras mielinizadas el potencial de acción "salta" de un nodo de Ranvier al otro por lo que se incrementa considerablemente el avance del impulso nervioso, pues en los nodos el axón no está cubierto por la vaina de mielina y se encuentra en contacto con el líquido extracelular.

Después que el potencial de acción pasa por un determinado lugar, se restablecen las concentraciones de sodio y de potasio, tanto dentro como fuera de la membrana axónica y la fibra nerviosa vuelve a su estado de potencial de reposo. El potencial de acción depende, por lo tanto, de la permeabilidad de la membrana a los iones de sodio.

Las células de glía son de cuatro tipos:

Astrocitos. Son células que tienen un cuerpo celular poliédrico del cual se desprenden prolongaciones que se ponen en contacto con el cuerpo de las neuronas o con el tejido perineuronal mientras que otras prolongaciones (*el pié o pedículo vascular o "pié chupador"*) se relacionan con el endotelio de capilares sanguíneos (fig. Tej. Nerv. 53, 54, 55). De esta manera se establece una comunicación estrecha entre las neuronas y la sangre, a través de la cual se transportan hacia las neuronas sustancias nutritivas, agua y iones como sodio, potasio y calcio y se extraen, de ellas, productos del metabolismo celular.

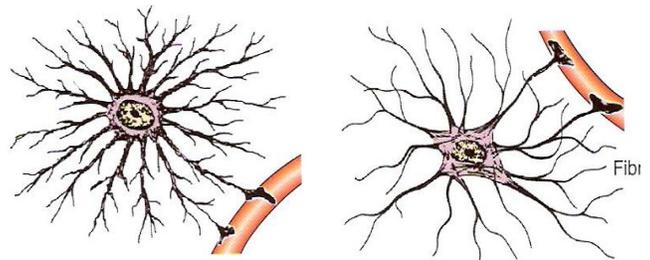


Figura nerv. 54. Esquemas de los dos tipos de astrocitos. A) protoplasmáticos y B) fibrosos (Langman. Medical Embryology. 7ª edición. 1995 - Pag. 383).

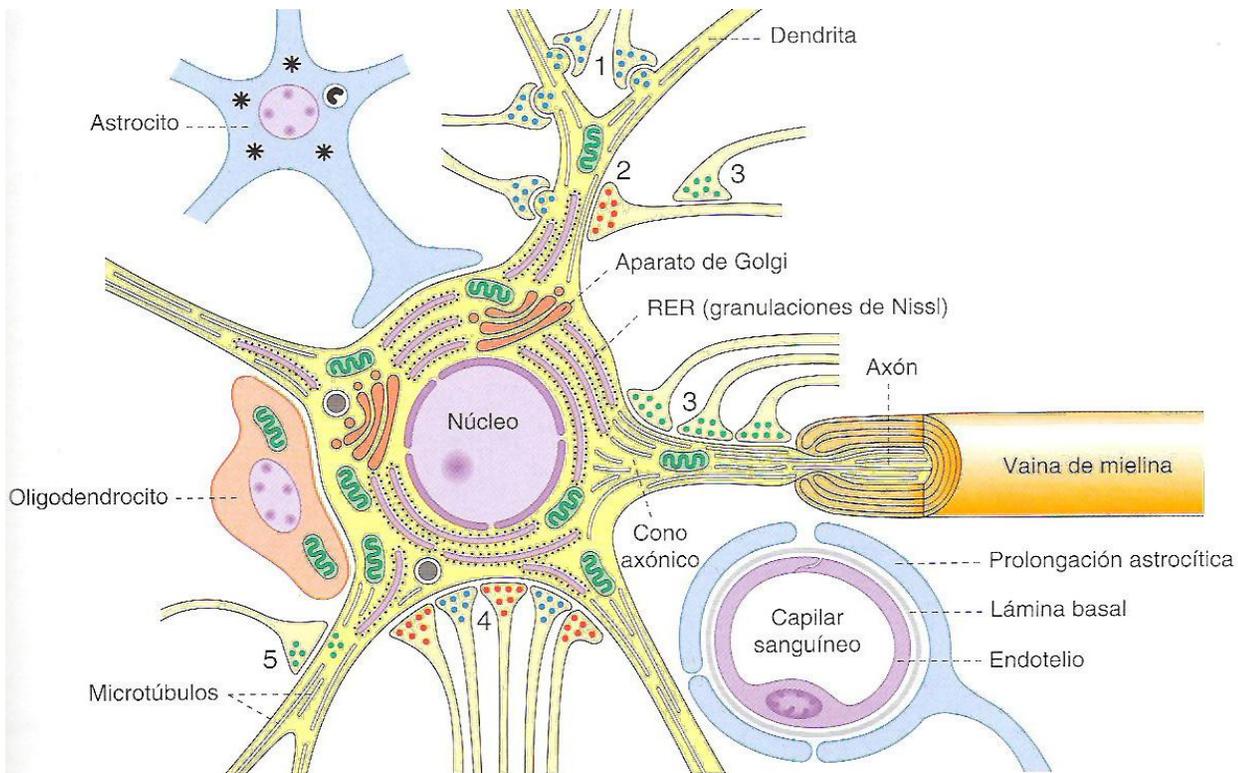


Figura Tej. Nerv. 55. Representación esquemática de la relación que se establece entre una neurona, algunas células de glía (oligodendrocito y astrocito), ramificaciones axónicas y dendríticas estableciendo contactos sinápticos y capilares sanguíneos rodeados de la barrera hematoencefálica. Welsch y Sobotta. . Histología 5ª edición 2009.

Existen dos tipos de astrocitos:

Los astrocitos **protoplasmáticos**, poseen prolongaciones cortas y muy ramificadas. Se localizan en la sustancia gris del sistema nervioso (Figura Tej. Nerv. 56). Al igual que los astrocitos fibrosos también establecen contacto con capilares sanguíneos situados en la sustancia gris y con los cuerpos neuronales. Algunos astrocitos protoplasmáticos pequeños suelen rodear los cuerpos de las neuronas estableciéndose como las denominadas células satélites.

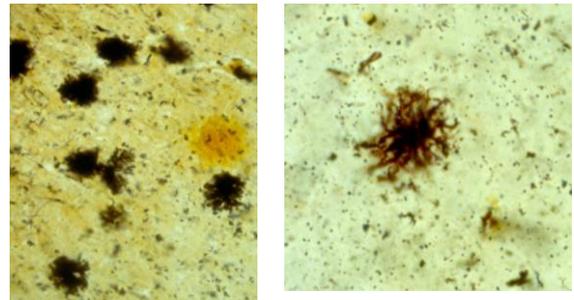


Figura Tej. Nerv. 56. Fotomicrografías fotónicas de astrocitos protoplasmáticos. Impregnación argéntica de Camilo Golgi.

Los **fibrosos**, de prolongaciones largas y poco ramificadas, éstos se relacionan estrechamente con el endotelio de capilares sanguíneos y con la superficie interna de la piamadre, aunque entre ellos se interpone siempre la membrana basal y otras prolongaciones se ponen en contacto con axones que forman parte de la sustancia blanca. Los astrocitos fibrosos se localizan preferentemente en la sustancia blanca del sistema nervioso. El microscopio electrónico muestra una serie de haces de neurofilamentos o filamentos intermedios de 8 a 11 nm de grosor, constituidos por **proteína ácida fibrilar glial** (figuras Tej. Nerv. 59 y 60) La determinación inmunohistoquímica de esta proteína permite demostrarlos de manera específica en el tejido nervioso.

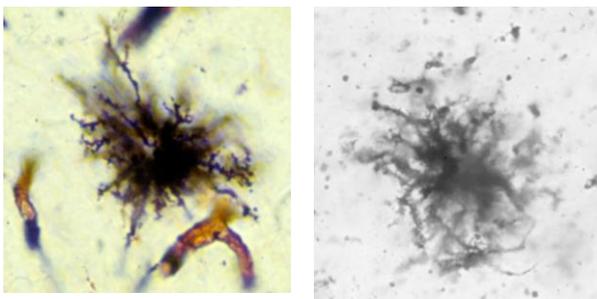


Figura Tej. Nerv. 56. Fotomicrografías fotónicas de astrocitos protoplasmáticos. Impregnación argéntica de Camilo Golgi.

La función de los astrocitos es capturar iones como el potasio y el sodio y productos del metabolismo neuronal como el glutamato y el ácido α -aminobutírico, acumulados en las cercanías de las neuronas.

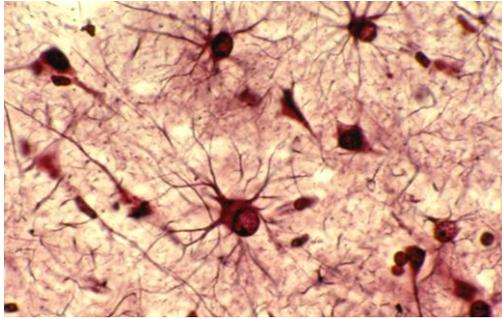
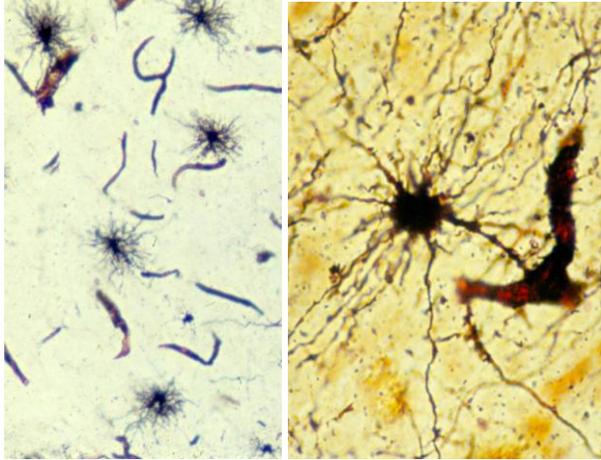


Figura Tej. Nerv. 57. Astrocitos fibrosos demostrados mediante la impregnación argéntica de Pío del Río Hortega 400x



Astrocitos fibrosos demostrados mediante impregnación argéntica de Camilo Golgi- 250x y 400x, respectivamente.

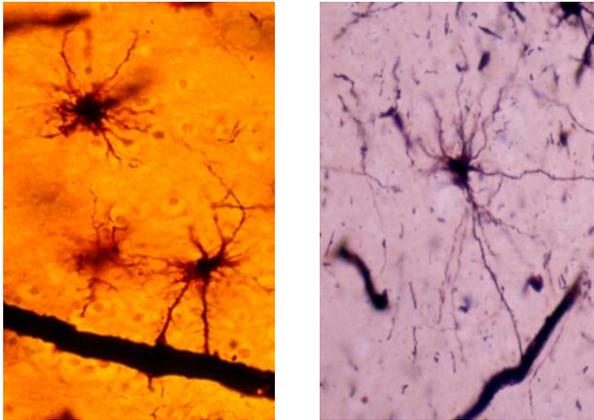


Figura Tej. Nerv. 58. Fotomicrografías de astrocitos fibrosos, demostrados por diversas técnicas de impregnación argéntica. Se visualizan las prolongaciones largas y poco ramificadas y la relación que se establece entre los pedicelos o pies vasculares y las paredes endoteliales de los capilares y vénulas sanguíneos.

A través de ellos, las neuronas y sus prolongaciones utilizan la glucosa que ellos descargan, cuando al ser estimulados por la noradrenalina y el péptido intestinal vasoactivo (neuromodulador) despolimerizan el glucógeno almacenado en su interior y liberan las moléculas de glucosa.

Los astrocitos cuando rodean, con sus prolongaciones o con sus cuerpos celulares, a los capilares y vasos sanguíneos de pequeño calibre, forman parte de la

denominada **barrera hematoencefálica**, observar el esquema de la figura Tej. Nerv. 55. Además intervienen, acumulándose en las zonas lesionadas del tejido nervioso, como un tejido cicatricial.

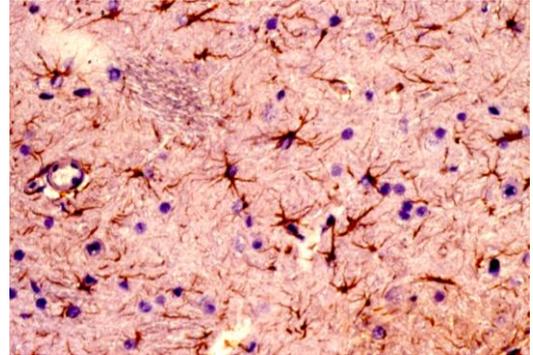


Figura Tej. Nerv. 59. Fotomicrografía de astrocitos fibrosos, en los cuales se demuestra la proteína ácida glial mediante reacción inmunohistoquímica de color pardo oscuro.

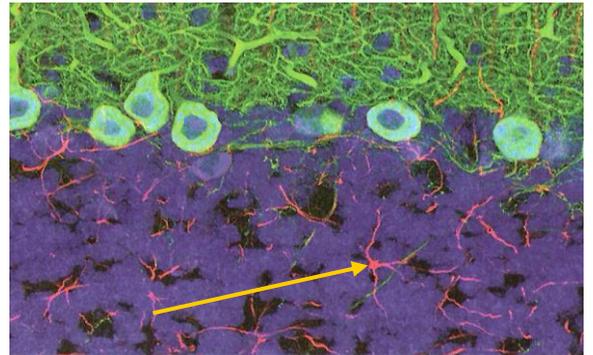


Figura Tej. Nerv. 60. Fotomicrografía de corteza cerebelosa, utilizando el microscopio equipado con el sistema de imágenes multifotónicas Bio-Rad. De color verde receptores IP3 en las neuronas de Purkinje (soma y ramificaciones dendríticas), demostradas con el fluorocromo isocianato de fluoresceína; de color rojo (rodamina) la proteína ácida glial, de células gliales; de color azul el DNA de los núcleos, colorante Hoechst 33342). Se observan, en la mitad inferior de la imagen, varios astrocitos en los cuales se demostró la existencia de proteína ácida glial de color rojo (flecha amarilla)

Carátula de la revista *Microscopy and análisis*, marzo del 2004

B) Oligodendrocitos. Son células pequeñas (5 a 6 micrómetros de diámetro) de cuerpo celular poligonal, poseen prolongaciones cortas y escasas; ellas se extienden en un recorrido sinuoso, presentan frecuentemente varicosidades. (fig. nerv. 61 y 62).

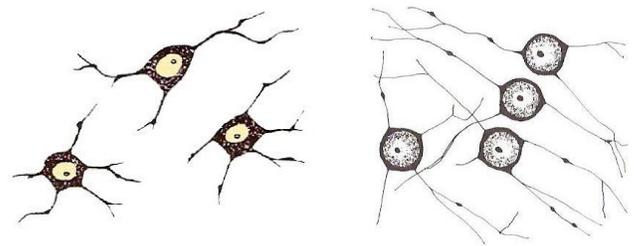


Figura Tej. Nerv. 61. Esquemas de oligodendrocitos. Junqueira y Carneiro. *Histología Básica*.

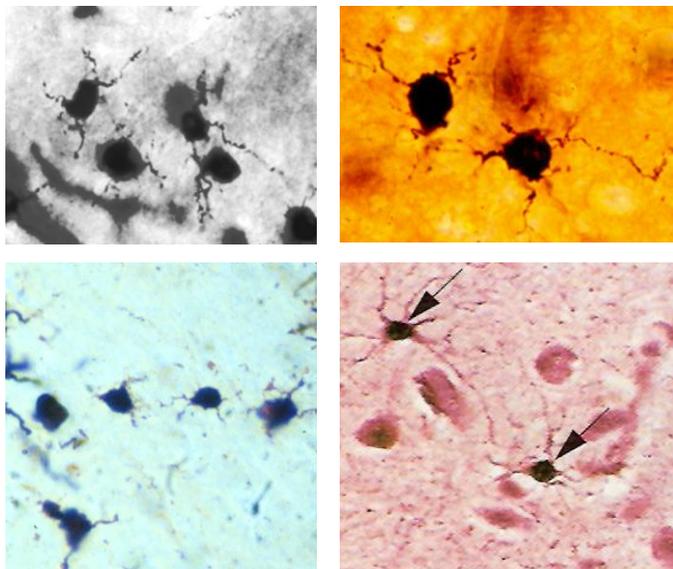


Figura Tej. Nerv. 62. Fotomicrografía de oligodendrocitos

Son responsables de proporcionar, a las prolongaciones axónicas de las neuronas del sistema nervioso central, las vainas de *mielina* y *neurilema*.

Los oligodendrocitos, durante el último trimestre de la vida prenatal y varios meses después del nacimiento, se disponen en la cercanía de los axones e inician un proceso de formación de las vainas de mielina. Para tal fin extienden pequeñas prolongaciones citoplasmáticas y empiezan a enrollarse alrededor de los axones, cubriéndolos de manera concéntrica, varias o muchas veces (fig. Tej. Nerv. 63). La fusión de la membrana celular de cada una de las vueltas alrededor de los axones forma la vaina de mielina.

La mielina se demuestra al microscopio fotónico mediante el luxol Fast Blue, con tetraóxido de osmio o en cortes semifinos con azul de toluidina (Fig. Tej. Nerv. 66)

Una célula que desempeña una función similar a los oligodendrocitos, pero en el sistema nervioso periférico (especialmente alrededor de los axones que constituyen los nervios) son las células de *Schwann*. Ellas son las responsables de formar las vainas de mielina y neurilema en los axones periféricos.

Formación de las vainas de mielina y de neurilema.

Las fibras nerviosas eferentes o eefectoras están constituidas por axones. Estas estructuras pueden estar o no rodeadas de mielina. La manera como se rodean de la vaina de mielina tanto en el sistema nervioso central (por intermedio de los oligodendrocitos) como en el sistema

nervioso periférico (a través de células gliales denominadas células de Schwann) es la siguiente:

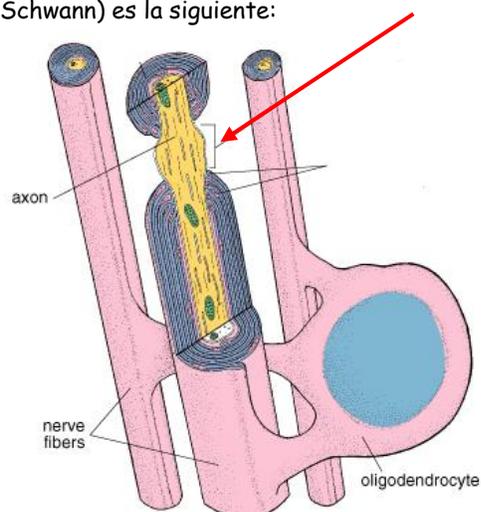


Figura Tej. Nerv. 63. Esquema que representa la formación de la vaina de mielina de varios axones, mediante la intervención de un oligodendrocito. La flecha roja indica un nodo de Ranvier. Ross y Pawlina, 2008.

Una célula de Schwann se relaciona con un solo axón; a continuación emite una prolongación membranosa, semejante a un lamelipodio, que envuelve al axón. Posteriormente continúa rodeándolo pero en forma concéntrica, enrollándose alrededor de él varias o muchas veces (fig. nerv 64 y 65).

La fusión de la lámina externa de la membrana celular profunda con la lámina interna del plasmalema más superficial constituye una lámina de mielina, por lo tanto cuantas más sean las vueltas que hace el plasmalema de la célula de Schwann alrededor del axón, mayores serán las láminas de mielina que lo rodeen y en consecuencia la vaina de mielina de esta fibra nerviosa será de mayor grosor tal como se muestra en las imágenes de microscopía electrónica de las figuras tej. Nerv. 67 y 68 y la fotomicrografía fotónica de la figura Tej. Nerv. 66.

A lo largo del axón se disponen, cada cierto trecho, las células de Schwann, en número necesario, para cubrir de mielina toda la longitud o extensión de la fibra nerviosa, sin superponerse unas a otras.

Esto significa que el axón estará cubierto de manera sectorizada por la vaina de mielina y tendrá también cada cierto trecho una zona carente de ella, Tal como se observa en la figura Tej. Nerv. 64, donde se muestra la presencia de dos células de Schwann.

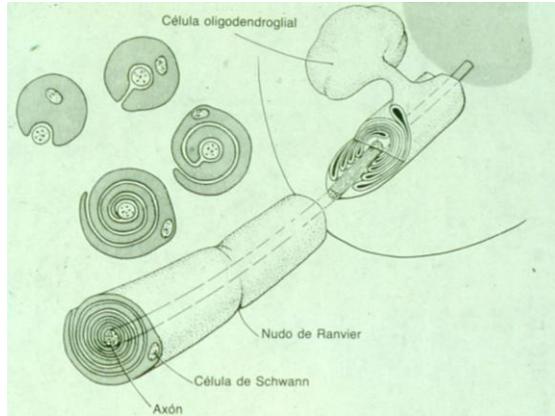


Figura Tej. Nerv. 64. Representación de la secuencia que permite observar la manera como un oligodendrocito y una célula de Schwann generan la vaina de mielina alrededor de los axones, en la sustancia gris y en la sustancia blanca. (Patten y Carlson, Embriología básica. 5ª edición 1990.

En el caso de los oligodendrocitos que mielinizan los axones en el sistema nervioso central, una sola de estas células puede emitir varias prolongaciones para rodear a varias fibras nerviosas axónicas vecinas y generarles la envoltura de mielina (Figura Tej. Nerv. 63).

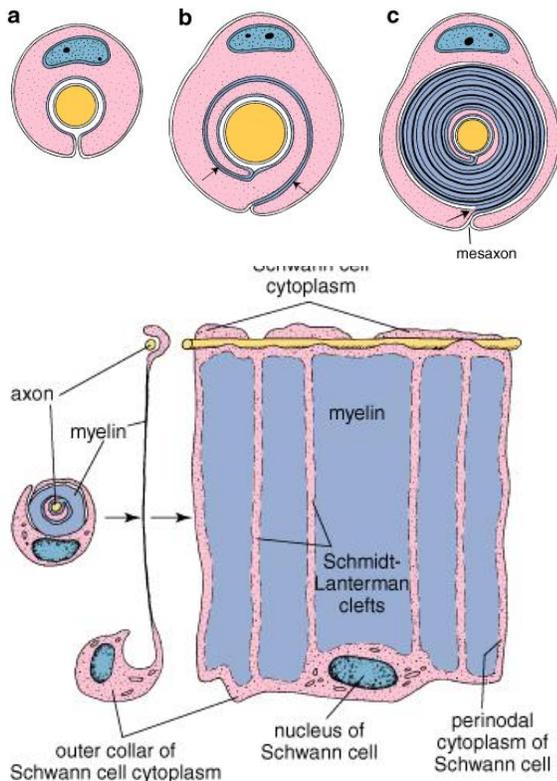


Figura Tej. Nerv. 65. Representación esquemática de la actividad de una célula de Schwann en sección transversal o en una imagen frontal y de perfil para mostrar la formación de la vaina de mielina. Axón: de color amarillo; el citoplasma: de color rosa y los componentes membranales de la envoltura de mielina: de color gris. Ross y Pawlina 2008.

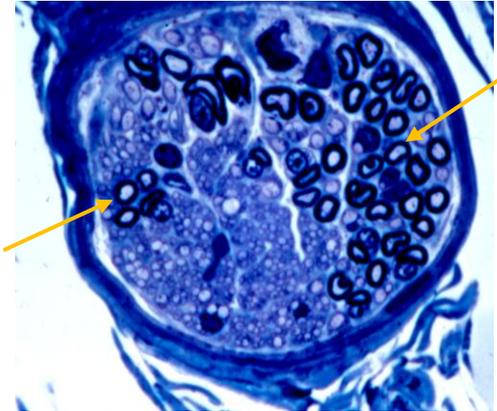
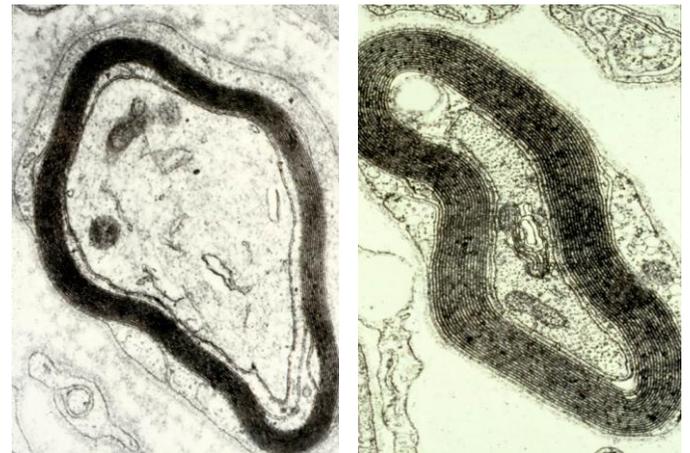


Figura Tej. Nerv. 66. Fotomicrografía de una sección transversal de un haz nervioso. Corte ultrafino teñido con azul de toluidina. Se observan prolongaciones nerviosas axónicas y dendríticas. La gran mayoría de los axones muestran la envoltura de mielina de un color azul - negro (flechas amarillas), en cambio las dendritas y axones con neurilema carecen de esta envoltura. 400x



Imágenes correspondientes a la leyenda de la figura Tej. Nerv. 67. se observan axones con vainas de mielina de presencia notable.

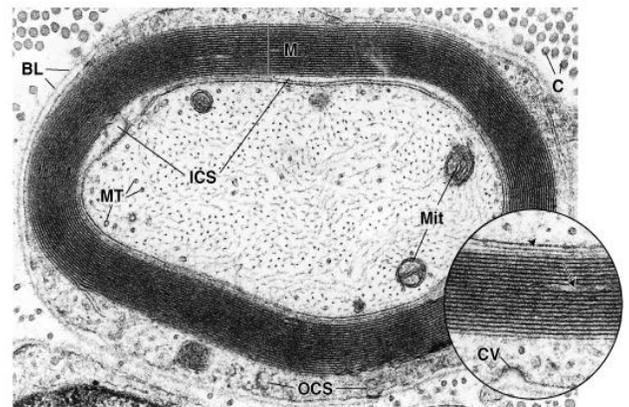


Fig. Tej. Nerv. 67. Fotomicrografías electrónicas de axones con diferentes grados de mielinización. Los axones muestran el citoplasma que contienen y algunos componentes citoplasmáticos: mitocondrias, microtúbulos y neurofilamentos. La periodicidad de las líneas electrón densas y electrón lúcidas se incrementa en proporción directa al grado de mielinización.

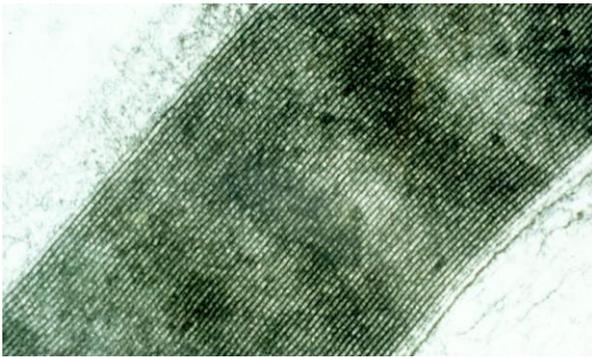
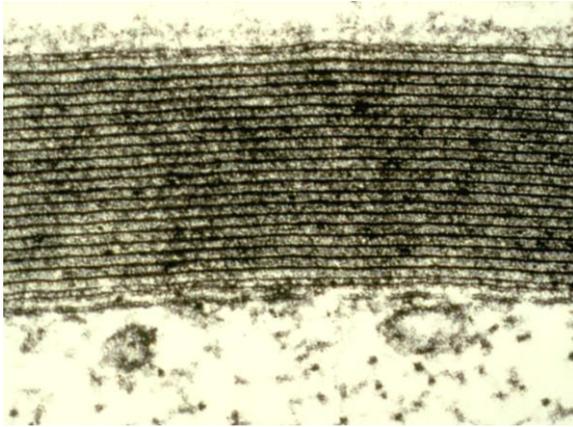


Fig. Tej. Nerv. 68 Fotomicrografías electrónicas de axones con diferentes grados de mielinización. Los axones muestran la periodicidad de las líneas electrón densas y electrón lúcidas. Éstas se incrementan en proporción directa al grado de mielinización. Se observan porciones de axones altamente mielinizados en los cuales el número de líneas periódicas alcanzan la cantidad de aproximadamente 60 a 70 líneas periódicas.

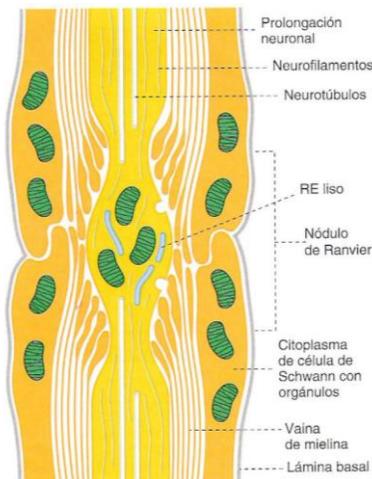


Figura Tej. Nerv. nerv. 69. Representación esquemática de la sección longitudinal de una fibra nerviosa (axónica) mielinizada. Se observan: el axón, b) plasmalema citoplasma y mitocondrias de las células de Schwann y la vaina de mielina, el nodo de Ranvier. Sobotta y Welsch, 2009

Las denominadas fibras *amielínicas* o con vaina de *neurilema*, resultan de la única envoltura que en ellas produce una célula de Schwann al rodearlas sin envolverlas concéntricamente. Una sola célula de Schwann puede

emitir varias prolongaciones para formar la vaina de neurilema, de varios axones vecinos (fig. Tej. Nerv. 70)

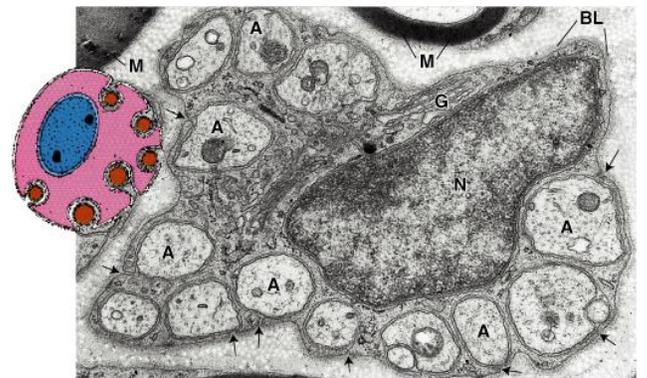


Figura Tej. Nerv. 70. Fotomicrografías electrónicas de células de Schwann (núcleo y citoplasma) generando las envolturas de neurilema en varios axones. Se observa el soma de la célula emitiendo varias prolongaciones; cada una de ellas rodea a un axón. El esquema representa una sección transversal de una célula de Schwann (núcleo azul, citoplasma rosa) originando el neurilema a varios axones (color rojo). Ross y Pawlina, 2009

Microglia. Son células gliales que no tienen origen nervioso como las anteriores. Se considera que forman parte del sistema monocitos - macrófagos. Por lo tanto derivan de células cuyo origen es la médula ósea o hematopoyética.

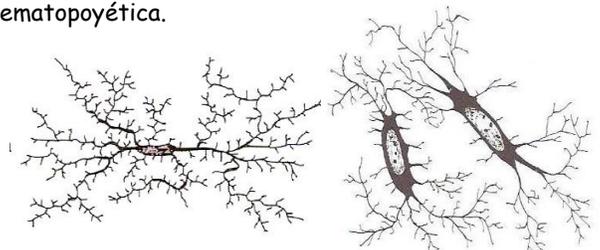


Figura Tej. Nerv. 71. Representación esquemática de microglia en estado de reposo.

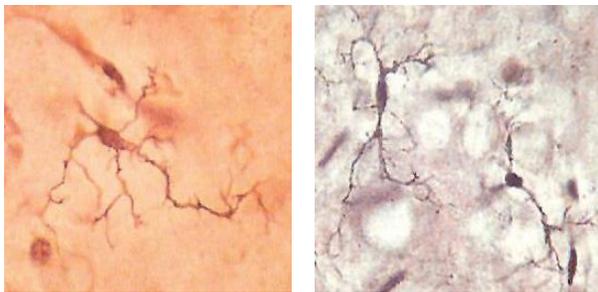
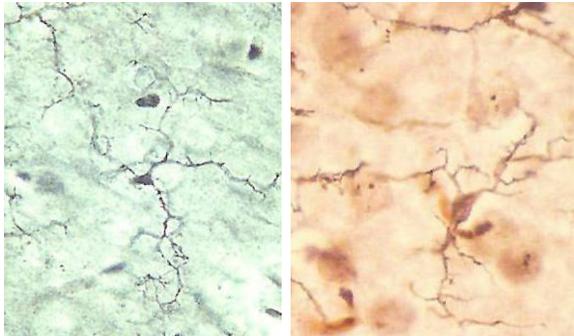
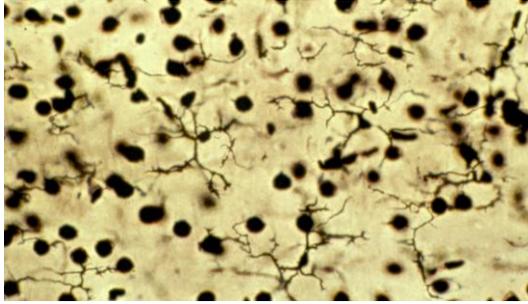


Figura Tej. Nerv. 72. Fotomicrografías de microglias en estado de reposo con sus prolongaciones extendidas, demostradas mediante impregnaciones argénticas: métodos de Pio de Rio Hortega y Camilo Golgi. 400x.

Se originan de monocitos que abandonan el torrente circulatorio y migran para situarse, y diferenciarse como microglias, en el tejido nervioso. Presentan un cuerpo celular ligeramente ovalado poligonal. Del cuerpo celular se desprenden una serie de prolongaciones poco ramificadas que se extienden casi en línea recta y terminan en pequeños ganchos (figs. Tej. Nerv. 72, 73 y 74).

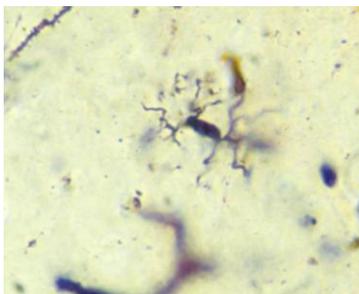


Figura Tej. Nerv. 73. Fotomicrografías de microglias. Las células se observan con sus prolongaciones ligeramente retraídas.

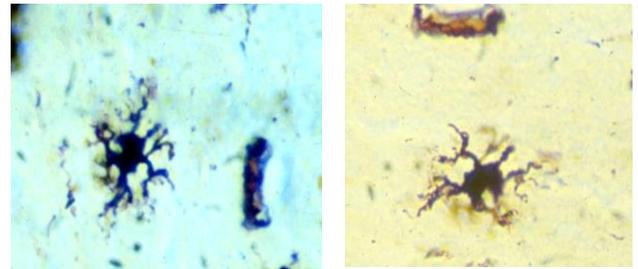


Figura Tej. Nerv. 73. Fotomicrografías de microglias. Las células se observan con sus prolongaciones ligeramente retraídas.

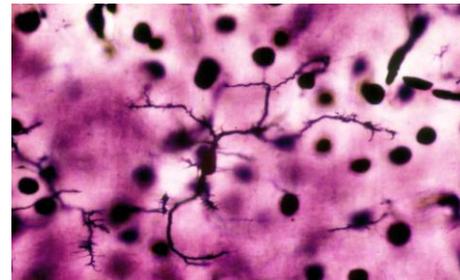


Figura Tej. Nerv. 74. Imagen de una microglia obtenida de una preparación de cerebelo impregnada con sales de plata según el método de Pio de Rio Hortega. Se observan las prolongaciones terminando en pequeños ganchos. 1000x

Desarrollan las funciones de fagocitar restos de tejido nervioso muerto, captar antígenos y presentarlos a las células efectoras para que se elabore una respuesta inmunológica. La imagen descrita es la mostrada cuando la microglia esta en reposo, en cambio cuando realiza su función fagocítica, retrae sus prolongaciones citoplasmáticas y tiende a adoptar una forma redondeada, especialmente cuando el material fagocitado es abundante.

D) **Células endimarias.** Son células que recubren las cavidades del sistema nervioso central (ventrículos cerebrales y conducto del epéndimo). Se disponen en forma de un epitelio cilíndrico simple (fig. Tej. Nerv. 75). Algunas de las células de este epitelio suelen mostrar un cilio único.

En los ventrículos cerebrales, el epitelio endimario, forma una serie de vellosidades, junto con tejido conjuntivo, muy vascularizado, que constituyen los denominados *plexos coroideos* (fig. Tej. Nerv. 76), que tienen por función generar el líquido cefalorraquídeo.

Los plexos coroideos son estructuras en forma de finas vellosidades formadas por capilares sanguíneos fenestrados, soportadas por tejido conjuntivo laxo y revestidas de epitelio cúbico simple modificado de las células endimarias. Los plexos están situados en los ventrículos cerebrales.

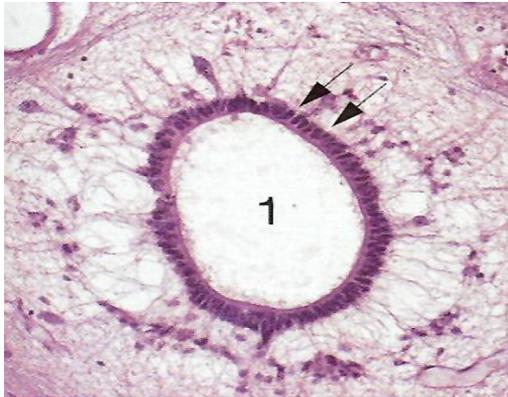


Figura Tej. Nerv. 75. Fotomicrografía a gran aumento (400x) del conducto del epéndimo. Se observa el epitelio cilíndrico que lo integra.

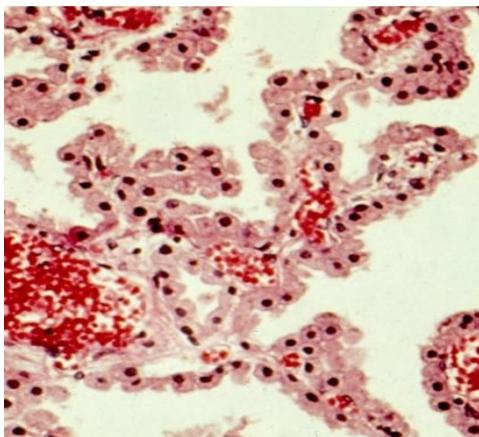


Figura nerv. 76. Esquema y fotomicrografía a mediano aumento de una vellosidad del plexo coroideo. a) células ependimarias cúbicas modificadas. b) capilares sanguíneos y c) tejido conjuntivo laxo.

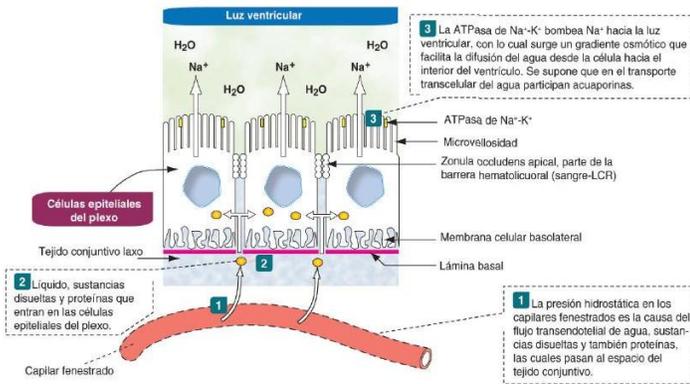


Figura Tej. Nerv.77. Representación esquemática de los mecanismos moleculares para la formación del líquido cefalorraquídeo.

COMPONENTES ANATÓMICOS E HISTOLÓGICOS DEL SISTEMA NERVIOSO CENTRAL.

El sistema nervioso central está constituido por el encéfalo y la médula espinal. Ambas estructuras se localizan en el interior de cavidades formadas por tejido óseo. El encéfalo se sitúa dentro de la cavidad o bóveda craneana y la médula espinal en el conducto vertebral formado por la sucesión de los agujeros vertebrales.

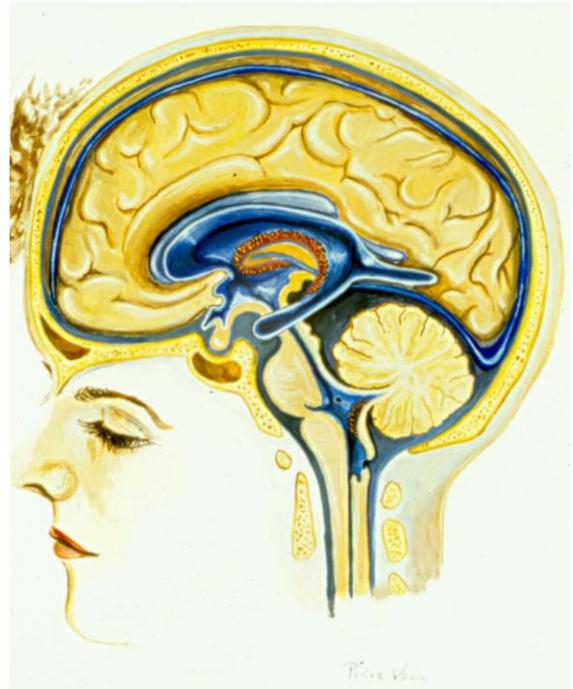


Figura Tej. Nerv. 78. Sección sagital del encéfalo mostrando los principales derivados de las vesículas cerebrales primitivas.

ENCÉFALO. Está constituido por un conjunto de órganos que se originan embriológicamente de las cinco vesículas cerebrales primitivas que se mencionan a continuación:

Vesículas cerebrales primitivas	Órganos encefálicos
Telencéfalo	Corteza cerebral: hemisferios cerebrales y bulbo olfatorio.
Diencefalo	Glándula pineal o epífisis. Tálamo e hipotálamo: neurohipófisis.
Mesencéfalo	Pedúnculos cerebrales y tubérculos cuadrigéminos
Metencéfalo	Cerebelo y protuberancia anular.
Mielencéfalo	Bulbo raquídeo y médula oblonga

Conocimientos adicionales:

El encéfalo tiene el aspecto de una masa ovoidea constituido por el cerebro (hemisferios cerebrales) y el cerebelo que se apoyan sobre un eje formado por la médula oblonga o bulbo raquídeo, la protuberancia anular o puente de Varolio, los derivados del mesencéfalo y el tálamo e hipotálamo.

Cerebro.- Es el órgano más voluminoso del encéfalo. Está formado por dos porciones sensiblemente semejantes, denominadas hemisferios cerebrales (derecho e izquierdo), unidos por una estructura interna de sustancia blanca denominada **cuerpo calloso**.

El cerebro se localiza en la parte anterior y superior del cráneo, encima del tallo cerebral y encima y delante del cerebelo. Tiene forma ovoidea, su superficie llamada corteza cerebral exhibe una serie de salientes o dobleces de sustancia gris denominados **circunvoluciones** o **giros** cerebrales separadas entre sí por surcos o hendidura, unos más profundos que otros que reciben el nombre de **fisuras** o **cisuras**.

Los surcos y cisuras del cerebro son:

- La cisura longitudinal o interhemisférica que divide al cerebro en los dos hemisferios.
- El surco central o cisura de Rolando.
- el surco lateral o cisura de Silvio
- el surco occipital transverso o cisura perpendicular externa y
- la cisura transversa

Las cisuras de Rolando, Silvio y el surco occipital transverso dividen a la corteza de cada hemisferio en cinco regiones o lóbulos. Cuatro de ellos reciben el nombre del hueso craneano debajo del cual se encuentran. Los lóbulos son el **frontal, parietal, temporal y occipital** (Fig. Sist. Nerv. 78). El quinto lóbulo llamado **de la ínsula**, está localizado debajo de las porciones inferiores de los lóbulos frontal y parietal, por lo tanto no se observa desde la superficie del cerebro. Su proyección esta representada en la misma figura.

La corteza cerebral esta constituida anatómicamente por dos porciones: a) la **sustancia gris**, de posición externa. Esta denominación se debe a la presencia de abundantes cuerpos neuronales y de células de glía y b) la **sustancia blanca**, de posición interna. Se le conoce así porque la integran numerosas prolongaciones nerviosas (axones principalmente, recubiertos de mielina, sustancia que le proporciona a la zona un color blanco nacarado).

La sustancia gris de la corteza cerebral esta integrada por un conjunto de neuronas interconectadas entre si cuyas prolongaciones axónicas mielinizadas se proyectan hacia el interior para formar la sustancia blanca (Figura Sist Nerv. 79 y 80).

Las capas de neuronas que integran la corteza de los hemisferios cerebrales son:

I - Capa molecular, está constituida por ramificaciones nerviosas que se originan en otras regiones de la corteza

cerebral la presencia de las **neuronas horizontales** y células gliales.

II - Capa granulosa externa, alberga neuronas de **cuerpo pequeño y prolongaciones estrelladas** y células de glía.

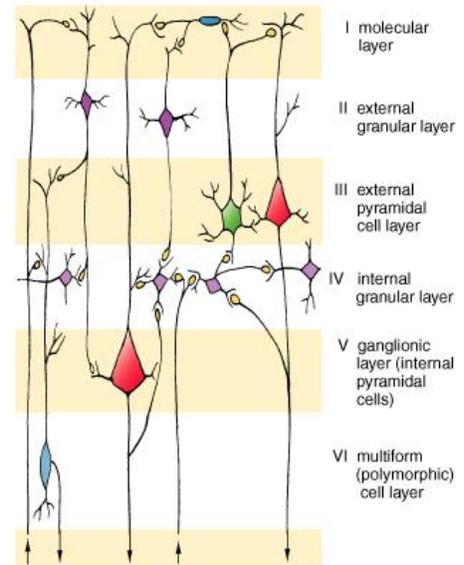


Figura Tej. Nerv. 79. Representación esquemática de neuronas integrantes de la sustancia gris de la corteza cerebral y las conexiones sinápticas que se establecen entre ellas. Ross y Pawlina. Histología, 2008.

III - Capa piramidal externa, está ocupada por neuronas que poseen una forma **piramidal**. El axón se desprende de la base de la pirámide y desciende hacia la sustancia blanca. Las dendritas emergen de los vértices celulares, aquellas que nacen del ápice ascienden para llegar a la capa molecular.

IV - Capa granulosa interna, está constituida por **neuronas granulosas y neuronas piramidales**. La población de estas células es la más abundante de toda la corteza cerebral.

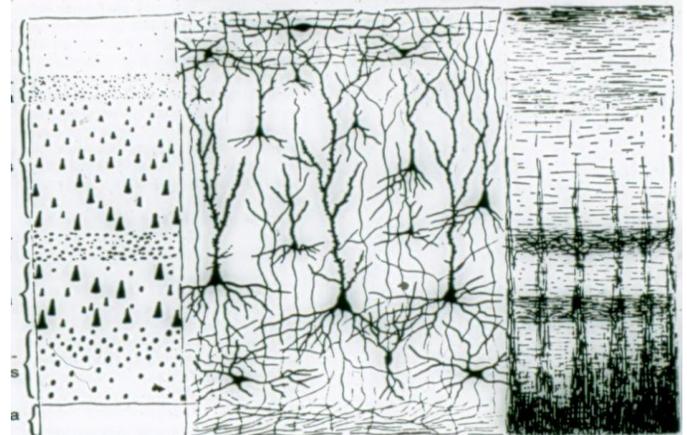


Figura Tej. y Órg Nerv. 80. Representación esquemática de las diversas capas neuronales que integran la corteza cerebral. Ham y Cormack. Tratado de Histología. 8ª edición 1983. Nueva Editorial Interamericana

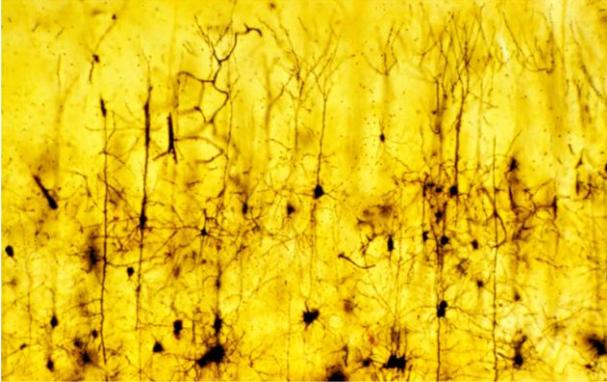


Figura Tej. y Org. Nerv. 81. Fotomicrografía de corteza cerebral. 100x Impregnación argéntica, método de Camilo Golgi. 100x

V - Capa piramidal interna. Esta capa la integran **neuronas piramidales de mayor tamaño**. La disposición de ellas es similar a las de la capa piramidal externa. La densidad de la población celular es la más baja de los hemisferios cerebrales (Fig. Sist. Nerv. 80, 82 y 83).

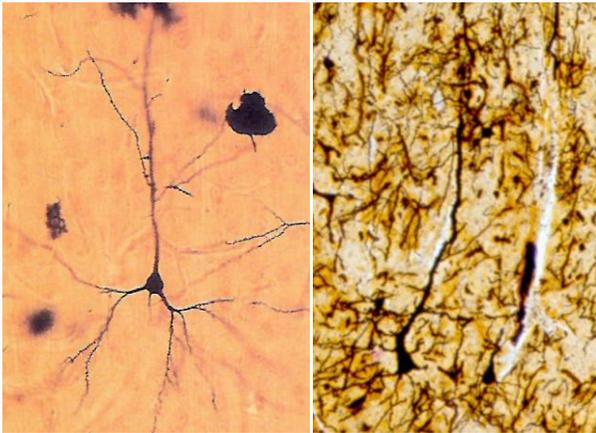


Figura Tej. y Org. Nerv. 82. Fotomicrografías de neuronas piramidales de la capa V. Se observan el soma piramidal, de los tres vértices se desprenden las dendritas con ramificaciones abundantes. De la base de la pirámide se observa una porción pequeña del axón. Impregnación argéntica de Golgi. 400x

VI - Capa de las **neuronas polimorfas**. Se caracteriza porque está constituida por neuronas que tienen diversas formas y tamaños.

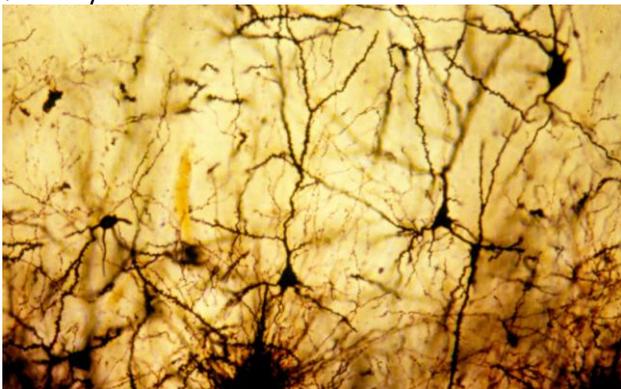


Figura Tej. y Org. Nerv. 83. Porción media de la sustancia gris del cerebro. Se observan neuronas piramidales internas. 400x

La sustancia blanca la forman haces de fibras nerviosas mielínicas que se disponen de la manera siguiente: a) **fibras de proyección** que conectan el cerebro con partes más bajas del sistema nervioso, b) **fibras de asociación** que conectan neuronas de una parte de la corteza con otras del mismo hemisferio y c) **fibras comisurales** que se dirigen de un hemisferio a otro.

En el interior de cada hemisferio existe una cavidad denominada ventrículo lateral que se comunica con el opuesto a través del agujero interventricular. Cada uno posee vellosidades coroideas que forman líquido cefalorraquídeo. Este líquido circula por los dos ventrículos y también por el tercer y cuarto ventrículo y el conducto del epéndimo.

Conocimientos adicionales:

La corteza cerebral está dividida en áreas, cada una de ellas cumple una función determinada.

- El **área motora** se encuentra en el lóbulo frontal, adelante de la cisura de Rolando;
- el **área sensitiva** está detrás de esta cisura pero en el lóbulo parietal, gracias a ella, nosotros podemos reconocer el tamaño, peso, forma y textura de los objetos, la posición de nuestro cuerpo e integrar los estímulos sensitivos;
- El **área visual** se localiza en el lóbulo occipital; el área auditiva en el lóbulo temporal,
- el **área del olfato** en el lóbulo temporal y
- el **área del gusto** (sabor) en la profundidad del surco lateral (cisura de Silvio)
- Los **centros del lenguaje** están localizados en el fondo del surco central (cisura de Rolando) en el lóbulo frontal. De acuerdo a estudios realizados se ha logrado identificar que, en las personas zurdas este centro se localiza en el hemisferio derecho y en las diestras en el izquierdo.

En el cerebro también se sitúan neuronas que forman áreas de asociación que están relacionadas con la inteligencia, la personalidad, la memoria y el razonamiento.

DIENCÉFALO. Denominado también **cerebro intermedio** está situado en la base del encéfalo, entre los hemisferios cerebrales y el mesencéfalo o cerebro medio. Lo constituyen tres componentes: Una evaginación superior y posterior que forma la glándula pineal o epífisis; una porción media integrada por el tálamo y una porción inferior constituida por el hipotálamo, del cual se evagina un divertículo que forma la neurohipófisis. Los componentes del diencéfalo rodean a una cavidad, el tercer ventrículo, éste se comunica con los ventrículos laterales a través del agujero de Monro y por detrás con el cuarto ventrículo mediante el acueducto de Silvio (fig. Sist. Nerv. 78).

Conocimientos adicionales:

Tálamo. Está constituido por cuatro masas neuronales laterales, de forma ovoidea, dos a cada lado del tercer ventrículo. Son masas laterales de sustancia gris cubiertas de sustancia blanca (capas ópticas). Está situado arriba y adelante de los tubérculos cuadrigéminos (fig.). Funciona como estación de relevo y de interpretación de los impulsos aferentes o aferentes, es decir selecciona los impulsos que le llegan y los envía al cerebro, con excepción de los impulsos olfatorios. A través de las neuronas del tálamo hacemos conscientes las sensaciones de dolor.

Hipotálamo.- Forma el piso y parte de las paredes laterales del tercer ventrículo. Se localiza debajo del tálamo y tiene la forma de un cono aplanado transversalmente. Limita anteriormente con el quiasma óptico (cruce de las fibras ópticas) y por detrás con la abertura de los pedúnculos cerebrales (fig. Tej. Nerv. 78). Una prolongación ventral del hipotálamo, el infundíbulo origina a la porción nerviosa de la hipófisis.

El hipotálamo lleva a cabo varias funciones importantes tales como:

- ❖ Regular el funcionamiento del sistema nervioso vegetativo o autónomo. Centros neuronales hipotalámicos estimulan reacciones simpáticas y parasimpáticas.
- ❖ Estimula a la hipófisis, situada debajo de él, mediante factores liberadores, sintetizados y secretados por neuronas de los núcleos hipotalámicos: supraóptico y paraventricular, que llegan a la adenohipófisis a través de una red admirable venosa o sistema porta hipofisiario, para que libere las hormonas que regulan el funcionamiento de otras glándulas endocrinas.
- ❖ Regula el metabolismo del agua (por sus conexiones con la neurohipófisis)
- ❖ Interviene en el mecanismo metabólico de los hidratos de carbono y de las grasas.
- ❖ Regula las funciones relacionadas con la pérdida de calor como la sudoración y la vasodilatación.
- ❖ Coordina los movimientos de los órganos viscerales y las funciones sexuales.
- ❖ Regula y coordina funciones como el sueño, vigilia, hambre y sed.

MESENCÉFALO. Esta parte del encéfalo también se le conoce como **cerebro medio**. Se localiza debajo de los hemisferios cerebrales y encima de la protuberancia anular (Fig. Sist. Nerv. 78). En su interior discurre un conducto, el **acueducto de Silvio**, que une el tercer ventrículo con el cuarto ventrículo.

La parte anterior está formada por dos masas de sustancia blanca, en forma de cordones, que envuelven a grupos neuronales caracterizados por que el citoplasma de las neuronas contiene gránulos de melanina, constituyendo la "sustancia nigra" o "locus niger" (fig. Tej. Nerv. 84), conocidos como **pedúnculos cerebrales**.

Los pedúnculos cerebrales están constituidos por fibras nerviosas que pasan por el cerebro medio y transmiten impulsos hacia o a partir de la corteza cerebral. Conducen hacia el cerebro fibras sensitivas y transmiten del cerebro órdenes motoras. Las lesiones traumáticas o tumorales de algún pedúnculo ocasionan parálisis e insensibilidad de medio cuerpo.

Conocimientos adicionales:

La porción posterior está constituida por cuatro protuberancias pequeñas, redondeadas llamadas **tubérculos cuadrigéminos** que forman el techo del acueducto de Silvio. El par anterior, los **tubérculos cuadrigéminos anteriores** transmiten los estímulos visuales y los dos posteriores, los **tubérculos cuadrigéminos posteriores** se encargan de conducir reflejos auditivos.

Las neuronas que forman los núcleos de los cuales se originan los pares craneales III y IV, se localizan en el cerebro medio. La lesión de los tubérculos cuadrigéminos produce debilidad visual y cierta incoordinación en los movimientos y en el equilibrio.

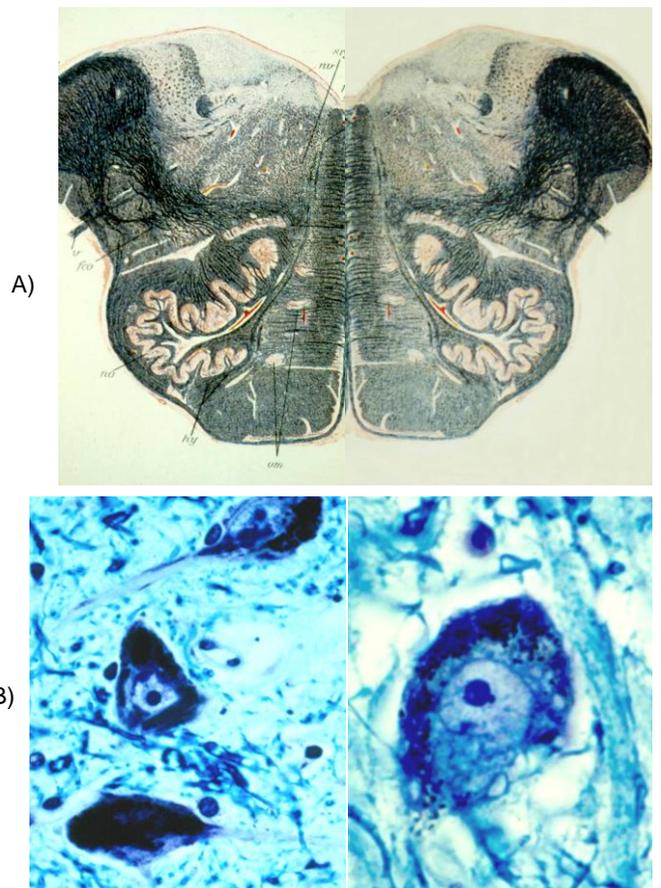


Figura Tej. Nerv. 84. A) Fotomicrografía de una sección transversal del mesencéfalo, se observan los pedúnculos cerebrales; tinción Hematoxilina de Weighert. B) Neuronas multipolares de la sustancia nigra mesencefálica (locus niger) mostrando el contenido de gránulos de melanina. Tinción de Klüver Barrera. 400 x y 1000 x.

METENCÉFALO. Está considerado con el cerebro posterior, se localiza detrás del cerebro y antes del

Mielencéfalo. Las partes que lo integran son la **protuberancia anular** o **punto de Varolio** y el **cerebelo**.

Conocimientos adicionales:

Protuberancia anular o punto de Varolio.- Forma la parte anterior del Metencéfalo. Se sitúa abajo del mesencéfalo, adelante del cerebelo y encima de la médula oblonga o bulbo raquídeo (fig. Tej. Nerv. 78). Tiene forma cuadrilátera, alargada en su eje transversal. Forma el piso de la parte anterior del cuarto ventrículo. Cuando se observa en una sección transversal se distingue que está formada por cintas anchas de fibras nerviosas mielínicas, ascendentes y descendentes, que rodean a núcleos de neuronas (sustancia gris). En la protuberancia se localizan los núcleos neuronales de los pares craneales V, VI, VII y VIII.

Como su nombre lo indica, sirve de punto entre los dos hemisferios del cerebelo, y entre el bulbo y la corteza cerebral. Esta considerada como un centro relacionado con las grandes emociones como el llanto, la risa y el dolor.

Cerebelo. Se localiza en la parte posterior e inferior de la cavidad craneana, debajo de los hemisferios cerebrales y detrás del punto y del bulbo raquídeo (tallo cerebral).

Tiene una forma ovoidea, voluminosa, es la segunda porción del encéfalo en tamaño, pesa aproximadamente 140 gramos. Está separado del cerebro por un repliegue de la duramadre, en forma de cúpula denominada tienda del cerebelo que forma el techo del cuarto ventrículo. Está formado por tres partes: una media o central, denominada porción o cuerpo vermiforme porque tiene el aspecto de un gusano o lombriz y dos porciones laterales llamadas hemisferios cerebelosos (fig. Sist. Nerv. 78).

Conocimientos adicionales:

El cerebelo posee tres pares de cordones o fascículos de sustancia blanca denominados **pedúnculos cerebelosos** que lo unen al tallo cerebral. Los fascículos **inferiores** lo unen a la médula oblonga. Los fascículos **medios** a la protuberancia anular y los **superiores** ascienden hacia el mesencéfalo uniéndose a los pedúnculos cerebrales y a la corteza cerebral.

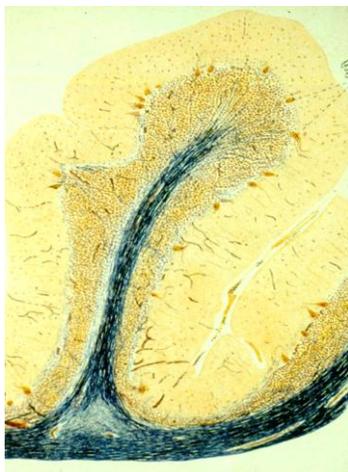


Figura Tej. y Sist. Nerv. 85. Sección sagital de cerebelo. Tinción Hematoxilina Férrica de Weighert y Acido pícrico. Los axones mielinizados se tiñen de color azul-negro.100x

La sustancia gris del cerebelo es periférica y la sustancia blanca es central. La superficie presenta una serie de surcos paralelos dispuestos en sentido transversal llamados: **fisuras cerebelosas**. Cuando a los hemisferios cerebelosos se les secciona transversalmente se observa que la disposición de las sustancias gris y blanca en los hemisferios cerebelosos se entremezcla ligeramente dándole un aspecto especial. El aspecto que presentan semeja a las ramas de un árbol, el "**árbol de la vida**" (fig. Sist. Nerv. 78, 85 y 86).

En la sustancia gris, las neuronas se disponen en tres capas celulares: una externa o **capa molecular** situada por debajo de la piamadre, otra media, la **capa ganglionar** o de las **neuronas de Purkinje** y la interna o **capa de los granos** (fig. Sist. Nerv. 87 y 88).

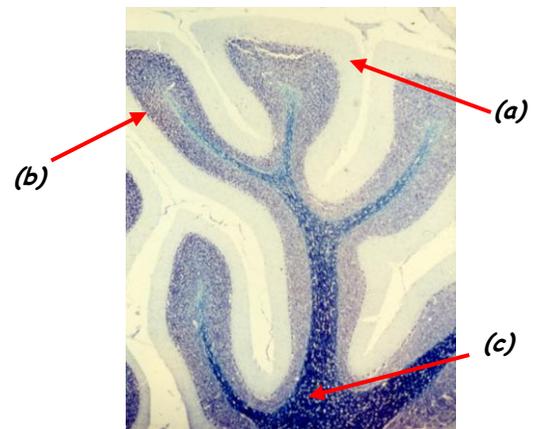


Figura Sist. Nerv. 86. Fotomicrografía a menor aumento 100x de una sección sagital del cerebelo. Tinción de Luxol Fast blue y Hematoxilina. a) capa molecular, b) capa de los Granos y c) Sustancia blanca (mielina de color azul). Entre la capa molecular y la capa de los granos se localiza la capa ganglionar o de las neuronas de Purkinje. 100x

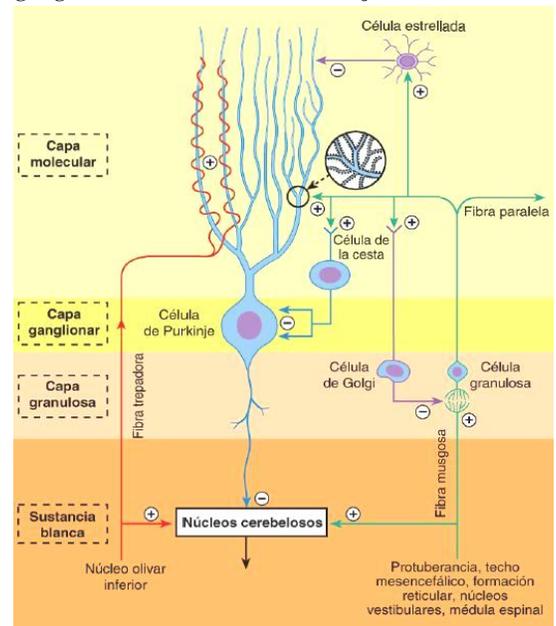


Figura Tej y Sist. Nerv. 87. Representación esquemática de los diversos componentes neuronales y gliales del cerebelo.

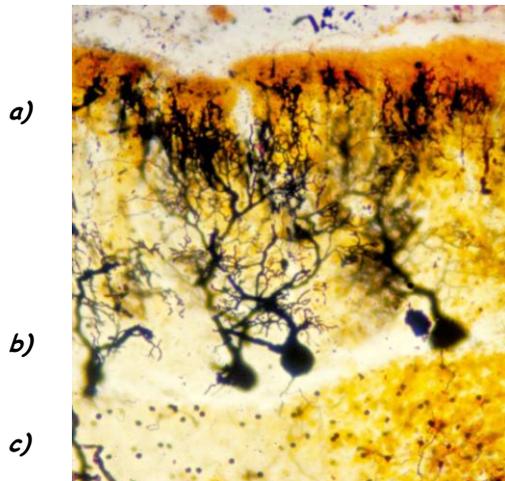


Figura Tej. y Sist. Nerv. 88. Fotomicrografía de la sustancia gris del cerebelo. Se observan las tres capas a) molecular, b) gangliosa y c) de los granos. Impregnación argéntica de Golgi. 400x

A) **Capa molecular.** Está formada por neuronas estrelladas que pueden tener unas, ramificaciones cortas y otras ramificaciones de mayor longitud. También ocupan esta capa las ramificaciones dendríticas profusas de las neuronas de Purkinje de la capa intermedia, así como axones de las neuronas de la capa de los granos y las células en canasta (Fig. Sist. Nerv. 89).

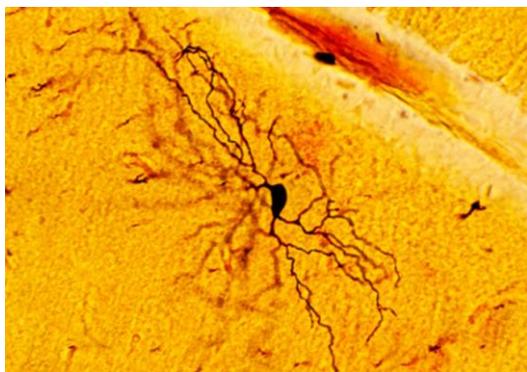


Figura Sist. Nerv. 89. Fotomicrografías de la sustancia gris del cerebelo. Impregnación argéntica de Golgi. Capa molecular con neuronas estrelladas. 200x Welsch y Sobotta Histología 2ª edición 2008. Imagen de archivo, 400x.

B) **Capa gangliosa o de las neuronas de Purkinje.** Esta capa contiene a unas neuronas grandes, de cuerpo piriforme, denominadas de Purkinje. Se caracterizan porque de la base del cuerpo neuronal se desprende un axón que atraviesa la tercera capa y se incorpora a la sustancia blanca. Del ápice emerge una dendrita de gran grosor que después se ramifica profusamente, de manera dicotómica, semejando las ramas de un árbol. La ramificación se efectúa en un solo plano (Fig. Sist. Nerv. 90, 91 y 92)

El soma de las neuronas de Purkinje está rodeado por prolongaciones de las neuronas en cesta que le forman una envoltura sináptica en forma de canasta. Las neuronas de Purkinje establecen millares de sinapsis excitatorias e inhibitorias que deben integrarse y coordinar sus efectos para que se efectúe la respuesta adecuada.

Las ramificaciones axónicas de estas células son las únicas que conduce información fuera del sistema nervioso central en la forma de una respuesta inhibitoria mediada por el neurotransmisor **GABA**.

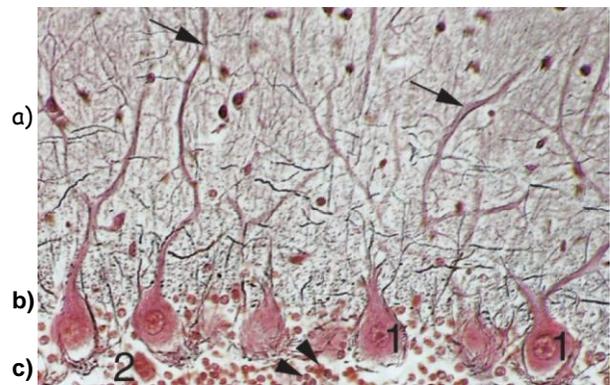


Figura Tej. Nerv. 90. Imagen microscópica de la estructura neuronal de la sustancia gris del cerebelo. a) capa molecular, b) capa gangliosa o de las neuronas de Purkinje y c) capa de los granos o gránulos. Welsch y Sobotta, 2ª edición.2009

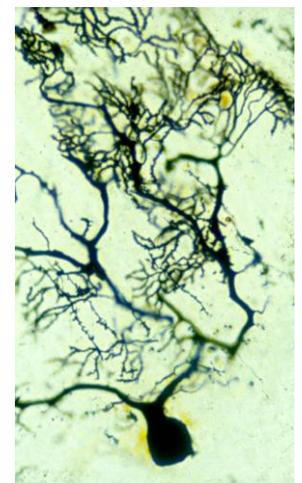
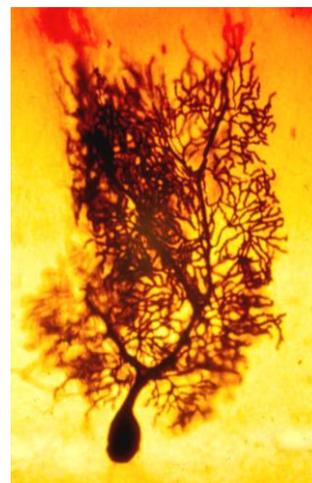


Figura Tej. y Sist. Nerv. 91. Fotomicrografías de neuronas de Purkinje. Impregnación argéntica de Camilo Golgi. 600x. Se observan los cuerpos neuronales piriformes y la profusión de ramificaciones dendríticas

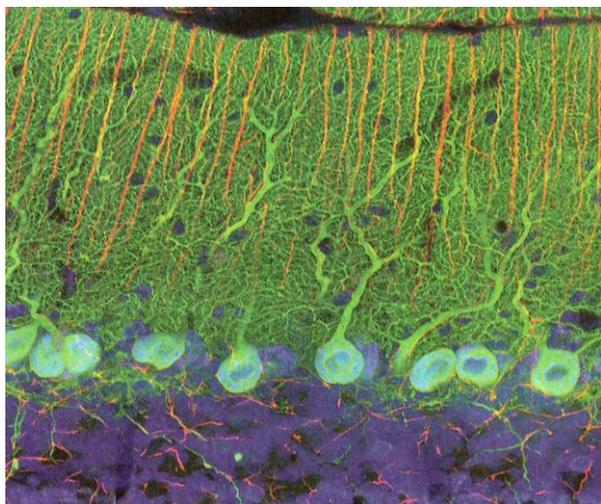


Figura Tej y Sist. Nerv. 92. Fotomicrografía de corteza cerebelosa, utilizando el microscopio equipado con el sistema de imágenes multifotónicas Bio-Rad. De color verde receptores IP3 en las neuronas de Purkinje (soma y ramificaciones dendríticas), demostradas con el fluorocromo isocianato de fluoresceína; de color rojo (rodamina) la proteína ácida glial, de células gliales; de color azul el DNA de los núcleos, colorante Hoechst 33342). Carátula de la revista *Microscopy and análisis*, marzo del 2004

C) Capa de células de los granos o capa de células granulosas. En ésta se sitúan las neuronas más pequeñas del sistema nervioso, miden entre 3 a 4 μ m de diámetro. Poseen un axón que asciende hasta la capa molecular. Las ramificaciones dendríticas son escasas y de un recorrido corto y sinuoso las cuales muestran leves dilataciones que marcan los lugares sinápticos que se establecen entre los axones que penetran a la sustancia gris del cerebelo y las células granulosas. Más profundamente se localiza la sustancia blanca, en cuyo interior alberga núcleos de neuronas Fig. Tej. Y Sist. Nerv. 93, 94 y 95)

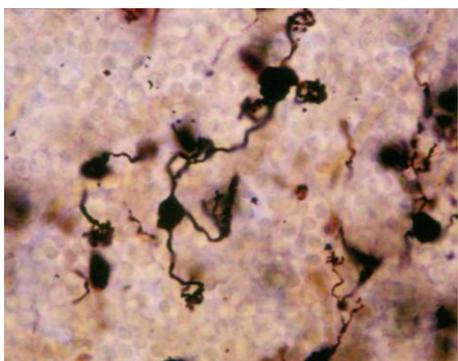


Figura de Tej. y Sist. Nerv. 93. Fotomicrografía de corteza cerebelosa. Se observan los somas y las prolongaciones dendríticas neuronales de la capa de los granos de la sustancia gris del cerebelo. Impregnación argéntica de Pio del Rio Horteaga. 1000x

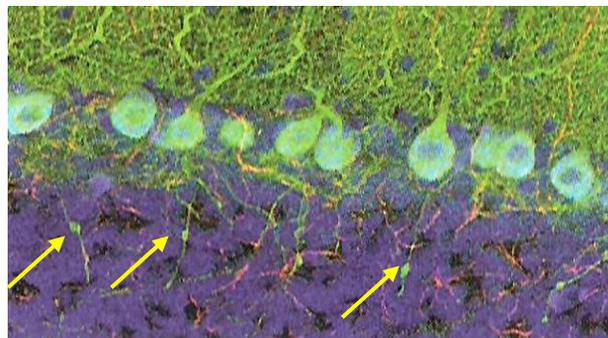


Figura Tej y Org. Nerv. 94. Fotomicrografía de corteza cerebelosa, utilizando el microscopio equipado con el sistema de imágenes multifotónicas Bio-Rad. De color verde receptores IP3 en las neuronas de Purkinje (soma y ramificaciones dendríticas), demostradas con el fluorocromo isocianato de fluoresceína; de color rojo (rodamina) la proteína ácida glial, de células gliales; de color azul el DNA de los núcleos, colorante Hoechst 33342).

Se observan en el tercio inferior de la imagen los cuerpos neuronales de las células de la capa de los granos (flechas amarillas)

Carátula de la revista *Microscopy and análisis*, marzo del 2004

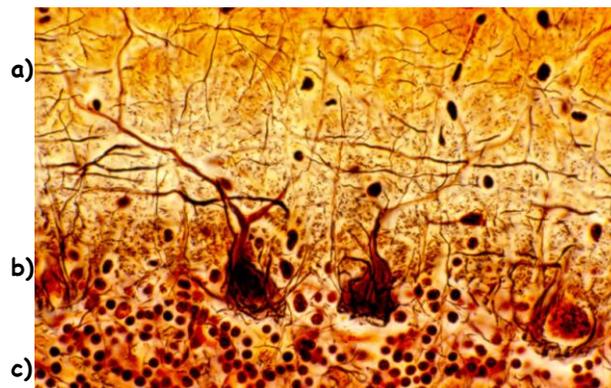


Figura Tej. Nerv. 95. Imagen microscópica de la estructura neuronal de la sustancia gris del cerebelo. a) Capa molecular, b) Capa gangliosa o de las neuronas de Purkinje; se observan prolongaciones y ramificaciones axónicas (telodendrón) de las neuronas en canasta envolviendo el soma de las neuronas de Purkinje y c) Capa de los granos o granulosas, los núcleos esféricos de estas neuronas miden de 3 a 4 micrómetros. 600x

Las neuronas de la sustancia gris establecen sinapsis con fibras nerviosas que provienen del cerebro o de otros órganos del encéfalo. Recibe impulsos sensoriales de los conductos semicirculares del oído interno y de los centros sensitivos de la superficie corporal. Las neuronas del cerebelo emiten prolongaciones que se dirigen a diferentes partes del organismo especialmente a los centros motores del cuerpo coordinando de forma precisa la musculatura motora primaria. De esta manera coordina el mantenimiento de la postura y el equilibrio. Regula la actividad muscular para los movimientos finos de los dedos de las manos. Controla la tonicidad muscular de los músculos de las piernas y de la lengua, coordinando la marcha y el lenguaje.

Miencéfalo. Es la porción más posterior del encéfalo. Constituye el bulbo raquídeo o médula oblonga (fig. Tej. nerv. 96).

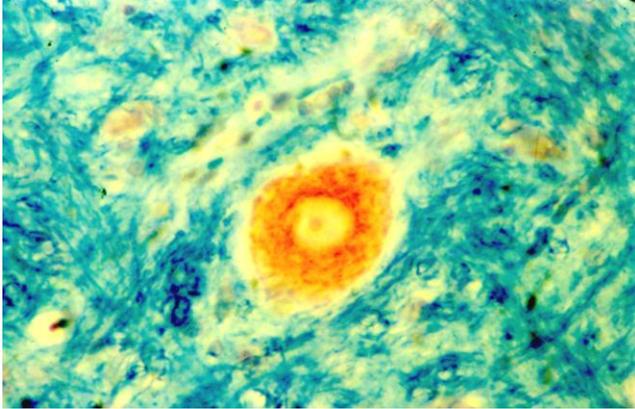


Figura Sist. Nerv. 96. Neurona de uno de los núcleos basales del bulbo raquídeo o médula oblonga. Tinción Darrow red (colorante nuclear) + Luxol Fast blue (colorante de mielina) 600x.

CONOCIMIENTOS ADICIONALES:

Bulbo raquídeo o médula oblonga.- Está relacionado anteriormente con la protuberancia anular o puente y en su parte posterior se continúa con la médula espinal a nivel del agujero magno u occipital, localizado en la base del hueso del mismo nombre. La forma que adopta es ligeramente cilíndrica (como la médula espinal) pero algo más voluminosa y aplanada dorsiventralmente (fig. Tej. y Sist. Nerv. 87). La superficie superior esta cubierta por el cerebelo. Mide aproximadamente tres centímetros de longitud. Tiene la forma de un trapecio cuya base mayor ocupa la posición superior. La parte central del bulbo forma la parte posterior y el piso del cuarto ventrículo que se continúa con el conducto del epéndimo, situado en medio de la médula espinal. Encima del cuarto ventrículo se dispone una cubierta conjuntiva delgada (piamadre) que tiene tres agujeros dos laterales y uno central denominados de Lushka y Magendie respectivamente. A través de estos agujeros el líquido cefalorraquídeo sale hacia los espacios meningeos (fig. Tej. y Sist Nerv. 87).

La porción ventral del **bulbo** está formada por dos estructuras denominadas pirámides que contienen tractos nerviosos provenientes de la sustancia blanca de la médula espinal. Éstos prosiguen su trayecto para llegar y formar la protuberancia anular y continuar hasta los pedúnculos cerebrales, estableciéndose así la comunicación entre la médula espinal y el cerebro.

Médula espinal. La médula espinal es un tallo cilíndrico, ligeramente aplanado en sentido dorsoventral, presenta un color blanquecino, porque en este órgano la sustancia blanca ocupa la posición externa y la sustancia gris tiene una posición central (fig. tej. Nerv. 97).

En la parte superior la médula espinal se relaciona con el bulbo raquídeo, en la parte inferior, en el ámbito de la segunda vértebra lumbar la médula se estrecha para formar el cono terminal; en este sitio se origina una porción no nerviosa denominada **filum terminale** (fig. Tej. Nerv. 1) una especie de ligamento que se inserta en la primera vértebra coccígea y le sirve como medio de fijación interior.

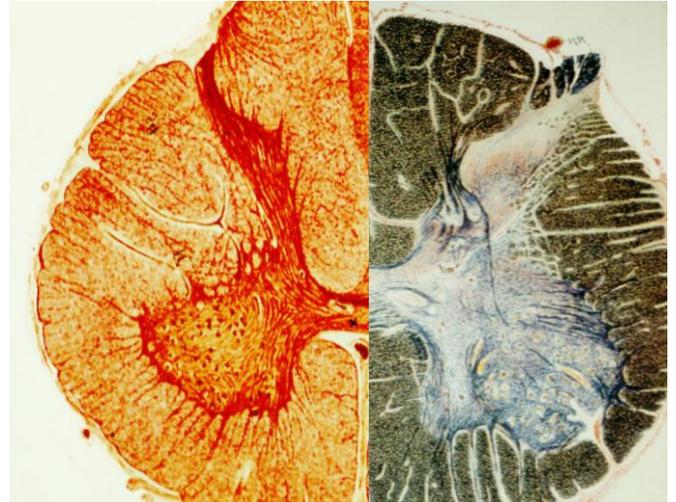


Figura nerv. 97. Esquemas de hemisecciones transversales de médula espinal. Sobotta 1904

El diámetro de la médula no es igual en todo su recorrido, presenta dos abultamientos o engrosamientos, uno superior localizado situado en el ámbito de las últimas vértebras cervicales denominado **braquial** o cervical y otro inferior en el ámbito de las últimas vértebras dorsales llamado **crural**, de ellos nacen las ramas nerviosas que inervan los miembros superiores e inferiores, respectivamente.

La disposición de las sustancias gris y blanca así como la existencia de dos surcos, uno ventral y otro dorsal dispuestos en la línea media, hace la que médula espinal presente en toda su longitud dos mitades laterales unidas por una pequeño puente de tejido nervioso denominado **comisura gris**, el cual a su vez está rodeado por una cubierta delgada de sustancia blanca, la **comisura blanca**.

A lo largo de la comisura gris se dispone un conducto delgado, el **epéndimo** o **conducto central** que se comunica en la parte superior con el cuarto ventrículo y en la parte inferior termina en un fondo de saco en el cono terminal. Por el conducto del epéndimo circula el líquido cefalorraquídeo.

Estructura de la médula espinal. Cuando se hace un corte transversal de la médula se distingue que está formada por las siguientes partes:

A) Sustancia gris, ocupa la parte central y, en conjunto muestra la forma de una H o de dos semilunas unidas en su parte central por la comisura gris (fig. nerv. 97).

Los extremos de la letra H se denominan **astas**. Son astas anteriores y posteriores. Las **astas anteriores** (motoras o ventrales) son voluminosas y engrosadas; en ellas se sitúan los cuerpos neuronales de las células que originan las fibras nerviosas eferentes de los nervios raquídeos motores. Las **neuronas motoras** son multipolares

y de gran tamaño, suelen alcanzar tamaños desde 100 a 120 μm . (Fig. Tej. Nerv. 97, 98 y 99).

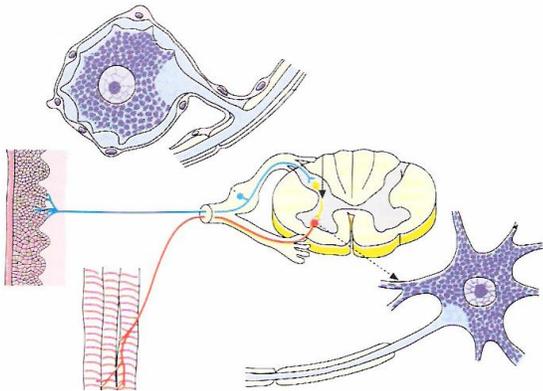


Figura Tej. Nerv. 98. Representación esquemática de los componentes celulares y tisulares integrantes de la arquitectura tisular de la médula espinal y la correlación morfológica y funcional con los ganglios nerviosos espinales.

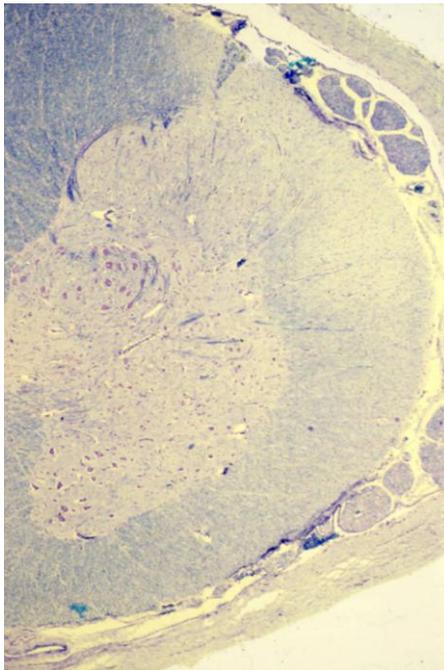
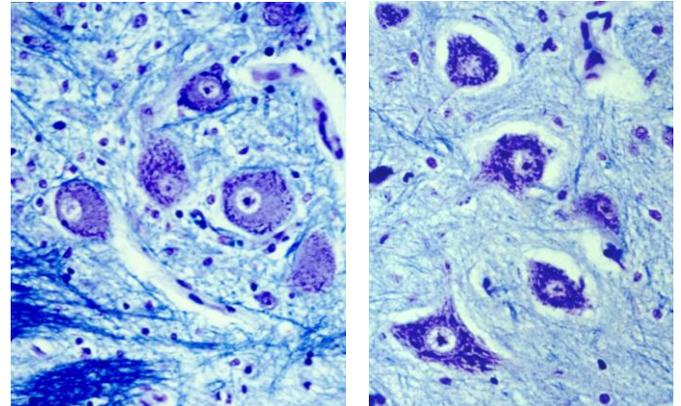


Figura Tej. y Org. Nerv. 99. Imágenes microscópicas de las neuronas de las astas sensitivas y motoras de la sustancia gris de la médula espinal. A) Neuronas sensitivas, b) neuronas motoras y c) células ependimarias del conducto central.

Las **astas posteriores** (sensitivas o dorsales) son delgadas y alargadas y contienen a neuronas también multipolares pero de menor tamaño que aquellas de las astas motoras representadas en la figura Tej. Y Sist. Nerv. 100 a.

Las prolongaciones dendríticas de las neuronas sensitivas establecen sinapsis con las ramificaciones aferentes de neuronas situadas en el sistema nervioso periférico. Sus prolongaciones axónicas se conectan con las

prolongaciones dendríticas de las neuronas (motoras) de las astas anteriores o se dirigen a centros nerviosos más altos de la médula espinal o del cerebro observar el esquema Fig. Tej. y Sist. Nerv. 98.



(a)

(b)

Figura Tej. y Org. Nerv. 100. Fotomicrografías de neuronas de las astas sensitivas y motoras, respectivamente. Tinción de Kluver – Barrera (Luxol Fast Blue + Violeta de cresilo) 400x.

B) Sustancia blanca, tiene una posición periférica, es decir envuelve a la sustancia gris. Los surcos anterior y posterior y la posición de las astas de sustancia gris dividen a cada mitad de la sustancia blanca en tres cordones: anterior, lateral y posterior (fig. Tej. Y Sist. Nerv. 97 y 99). Cada uno de ellos, a su vez, está dividido en fascículos o haces. Algunos de ellos son ascendentes o sensitivos y conducen hacia el cerebro los estímulos que llegan a la médula por las vías aferentes (sensoriales) y otros son descendentes encargados de transmitir los impulsos motores a las neuronas de las astas anteriores o motoras. Otros fascículos recorren trechos cortos dentro de la misma médula y pueden dirigirse de una mitad a la otra a través de la comisura gris.

La sustancia gris de la médula espinal actúa como centro nervioso que transforma la sensibilidad en movimiento o en secreción. Interviene en los actos reflejos del tronco, extremidades superiores e inferiores y en la vejiga urinaria.

MENINGES Y LÍQUIDO CEFALORRAQUÍDEO

El sistema nervioso central se encuentra protegido por el cráneo y los cuerpos vertebrales, pero además de esta cubierta ósea, el encéfalo y la medula espinal cuentan con dos componentes adicionales que les ofrecen una mayor protección y amortiguación. Estos componentes son las meninges y el líquido cefalorraquídeo respectivamente.

Las meninges son tres envolturas constituidas por tejido conjuntivo fibroso denso y laxo. Se localizan entre la superficie interna de los huesos del cráneo y del agujero

raquídeo y la superficie externa de los órganos encefálicos y medular. Las meninges son:

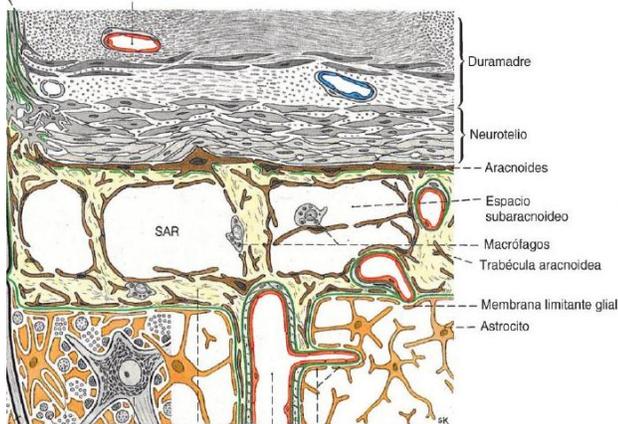


Figura Tej. y Sist. Nerv. 101. Diagrama que ilustra las características topográficas y microscópicas de las meninges y los espacios meníngeos del encéfalo y de la médula espinal. Sobotta y Welsch 2009.)

A) **duramadre**, es una capa fibrosa, densa, resistente, de color blanquecino. Está constituida por haces de fibras colágenas dispuestas de manera irregular. Se localiza debajo del endostio de los huesos craneanos, al cual se une en forma estrecha; en cambio en el canal medular, por encima de ella se sitúa un espacio denominado **epidural** (fig. Tej. Y Sist. Nerv. 100 y 101). En el interior de la dura madre se localizan **senos venosos**. A través de ellos se reabsorbe el líquido cefalorraquídeo circulante en los espacios meníngeos para devolverlo al torrente sanguíneo.

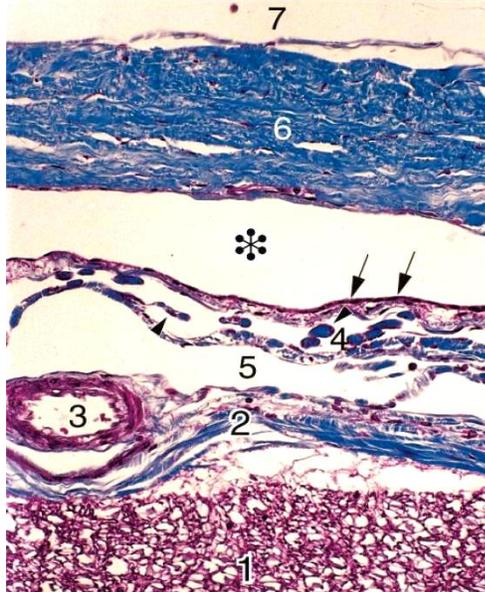


Figura Sist. Nerv. 102. Fotomicrografía de las meninges:
 1. Sustancia blanca, 2. Piamadre, 3. Arteriola, 4. Aracnoides, 5. Espacio subaracnoideo, 6. Duramadre (asterisco: espacio subdural) y 7 espacio epidural.
 Tinción tricrómico de Masson. 200x Welsch y Sobotta, 2009

B) **Aracnoides**, es una membrana delicada, muy vascularizada, formada por tejido conectivo laxo; debe su

nombre al aspecto que presenta, similar a una tela de araña. Se localiza debajo de la duramadre. Entre ambas se encuentra un espacio denominado **subdural**. De la superficie externa de la aracnoides se proyectan unas prolongaciones, que se conocen con el nombre de **vellosidades aracnoideas** las cuales se ponen en relación directa con los senos venosos de la duramadre. Debajo de la aracnoides existe otro espacio que la separa de la membrana interna, la piamadre, llamado espacio **subaracnoideo** (fig. Tej. Y Sist. Nerv. 101 y 102). La aracnoides proyecta hacia la piamadre filamentos de tejido conjuntivo llamados **trabéculas** que atraviesan el espacio subaracnoideo

C) **piamadre**. Es la meninge interna. Se adhiere íntimamente a la superficie del encéfalo y la médula. Acompaña a los surcos y cisuras del sistema nervioso central. Interviene como vía de entrada de los vasos sanguíneos del tejido nervioso. Por lo tanto, es una capa conjuntiva fina, muy vascularizada. Varias prolongaciones de las células de glía existentes en la superficie más externa del tejido nervioso se ponen en estrecho contacto con la piamadre.

El líquido cefalorraquídeo es producido, de manera constante, por los **plexos coroideos** (fig. Tej. Y Sist. Nerv. 76 y 77).

El líquido cefalorraquídeo es un líquido claro, transparente y muy fluido, constituido principalmente por agua, electrolitos (sodio, potasio y cloruros) y pequeñas cantidades de glucosa. Circula a través de los ventrículos cerebrales y el conducto del epéndimo. A nivel del cuarto ventrículo sale, a través de los agujeros de Magendie y Lushka, hacia los espacios subaracnoideo y subdural para circular entre las meninges. Como su formación es constante también debe ser reabsorbido continuamente. La reabsorción se efectúa en el ámbito de las vellosidades aracnoideas que están relacionadas estrechamente con los senos venosos de la duramadre). De esta forma el líquido es devuelto a la sangre de donde se originó

El líquido cefalorraquídeo amortigua los golpes que pueda sufrir el sistema nervioso central. En condiciones normales, el volumen, la composición química y la presión de este líquido deben permanecer constantes, pero puede suceder que en algunas enfermedades infecciosas del sistema nervioso o de las meninges (encefalitis y/o meningitis) la composición puede variar y un examen del mismo servirá al médico para un diagnóstico y posterior tratamiento más preciso.

Correlación clínica:

Puede ocurrir que por alguna malformación congénita o por procesos traumáticos o infecciosos las vías de circulación del líquido cefalorraquídeo se obstruyan parcial o totalmente, especialmente a nivel del acueducto de Silvio que es la comunicación entre los ventrículos laterales, el tercer ventrículo con el cuarto ventrículo, entonces, si la producción continúa, este líquido empieza a acumularse en los ventrículos cerebrales y se produce un cuadro patológico denominado **hidrocefalia**, que en los recién nacidos y niños de corta edad se traduce en el crecimiento exagerado de la cabeza.

SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO.

El sistema nervioso periférico está integrado por todos aquellos componentes del sistema nervioso que relacionan el medio externo e interno del individuo con el sistema nervioso central.

Los componentes del sistema nervioso periférico son:

A) Nervios. Los nervios son estructuras cilíndricas, alargadas, en forma de cordones o cables, de longitud y grosor variable, constituidos por la reunión escasa o abundante de las prolongaciones neuronales, axónicas y dendríticas, (fibras nerviosas) revestidas o no de mielina. Las prolongaciones se juntan e integran un **nervio** (fig. Sist. Y Sist. Nerv.103 y 104). Cada una de las estructuras mencionadas se rodea de tejido conjuntivo.

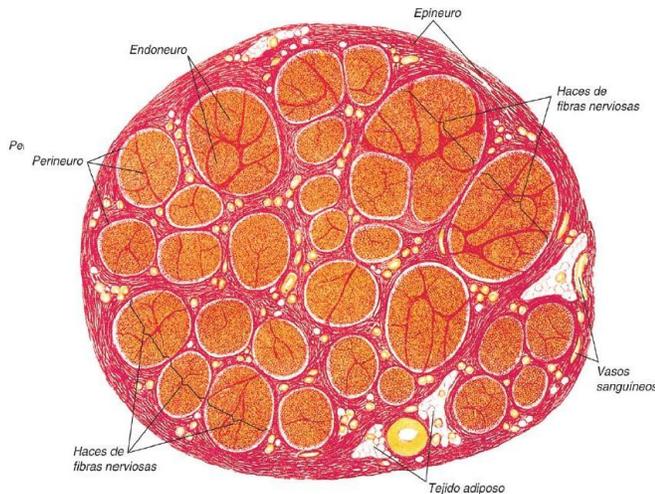


Figura Tej. Nerv. 103. Representación esquemática de una sección transversal de un nervio. El tejido fue teñido con el tricrómico de Van Gieson. 40x. Dibujado por Sobotta. En los inicios del siglo XX.

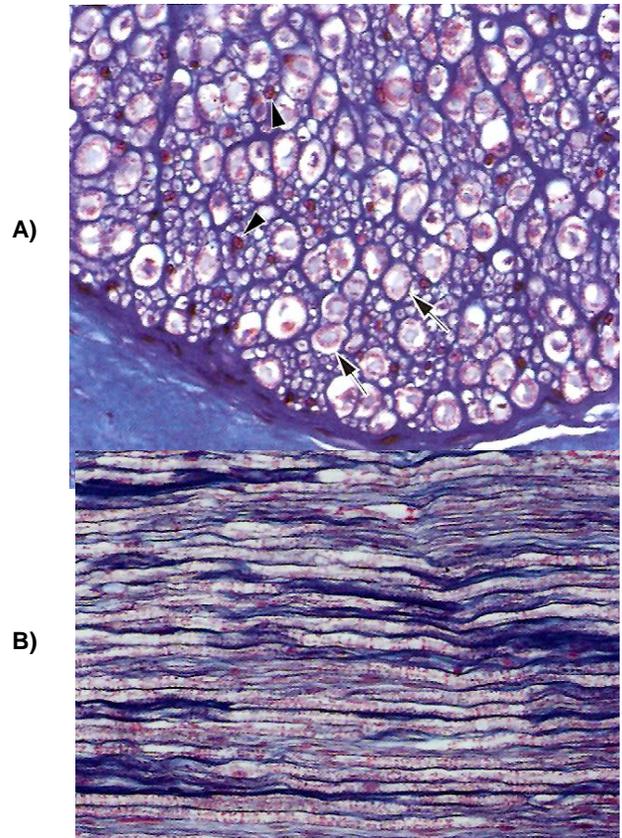


Figura nerv. 104. Fotomicrografías que muestran la disposición de los componentes tisulares en secciones A) transversales y B) longitudinales de un nervio. Tinción tricrómico de Mallory 400x. Sobotta y Welsch. 2ª edición 2009.

Los nervios están constituidos por varias **fibras nerviosas**, que se unen para formar **fascículos** o **haces nerviosos**

El tejido conjuntivo que rodea a cada fibra nerviosa se denomina **endoneuro**. Está formado por escasas fibras reticulares y colágenas. El **perineuro** es el tejido conjuntivo laxo que circunda a cada haz nervioso, este tejido alberga vénulas y arteriolas y, el **epineuro**, tejido conjuntivo denso irregular, recubre en su totalidad al nervio (fig. Tej. y Sist. Nerv. 103). Por lo expuesto, un nervio es un conjunto de fibras nerviosas, aferentes o eferentes, rodeado de tejido conectivo que puede ramificarse para inervar a un conjunto de células u órganos de todo el cuerpo humano.

Se ha mencionado que las neuronas no pueden regenerarse, sin embargo sus prolongaciones axónicas y dendríticas, bajo ciertas circunstancias, pueden volver a integrarse en el caso que ellas pudieran haber sufrido alguna lesión.

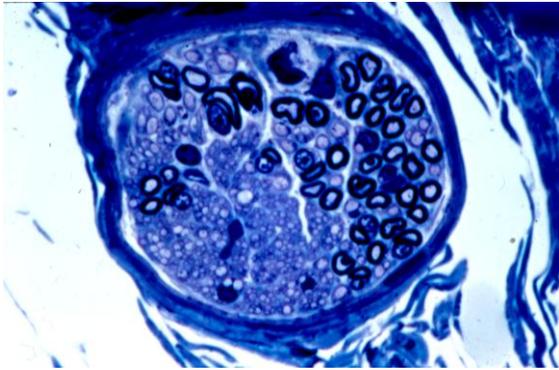


Figura Tej. Y Sist. Nerv. 105. Fotomicrografía de una sección transversal de un haz nervioso. Se observan fibras nerviosas dendríticas y axónicas. De estas últimas existen mielinizadas (Círculos de color azul negro) y no mielinizadas. Cortes semifinos coloreados con azul de toluidina. 100x

Las fibras nerviosas que integran un nervio pueden ser aferentes (excitables) y eferentes (conductoras). La excitabilidad se produce mediante estímulos mecánicos, eléctricos físicos y químicos. La conductibilidad se realiza de manera permanente y generalmente se efectúa del soma hacia los axones y de estos hacia las dendritas, otro cuerpo neuronal u otros axones. Pero en ciertas circunstancias la excitabilidad o la conductibilidad se pueden disminuir o bloquear mediante el empleo de algunas sustancias como venenos, anestésicos o drogas.

Nervios raquídeos. Los nervios raquídeos, formados por las fibras aferentes y eferentes que entran y salen de la médula espinal, son 31 pares dispuestos a ambos lados de la médula espinal (fig. Tej. Nerv. 1) y salen a través de los agujeros intervertebrales. Dependiendo de la región de la columna vertebral por donde emergen se denominan cervicales (8), dorsales (12), lumbares (5), sacros (5) y coxígeos (1). Los primeros pares se originan en el bulbo raquídeo, los demás, de la médula espinal.

Son nervios mixtos pues están integrados por fibras sensitivas y motoras. Los constituyen fibras provenientes de las astas motoras, denominadas raíces anteriores, por lo tanto llevan impulsos de la médula espinal hacia la periferia. Las fibras que se originan de las prolongaciones de las neuronas situadas en los ganglios espinales forman las raíces posteriores y conducen estímulos de la periferia hacia la médula.

Nervios craneales. También se les conoce como pares craneales. Existen 12 pares craneales. Se originan del encéfalo. y, por su función se clasifican en motores, sensitivos y mixtos. Están constituidos por prolongaciones de neuronas que forman núcleos de sustancia gris situados en el encéfalo o que llegan a estos núcleos. Las prolongaciones forman los nervios que emergen a través de agujeros situados en los huesos del cráneo. Los núcleos de

sustancia gris de los cuales salen las fibras nerviosas motoras se denominan **núcleos de origen** o **motores** y los núcleos a los cuales llegan fibras nerviosas sensitivas se denominan **núcleos de terminación** o **sensitivos**. Estos dos tipos de núcleos siempre entran en contacto posterior con la corteza cerebral. Los nervios craneales se designan de acuerdo a la zona, región u órgano a los cuales inerva y también se les conoce por la numeración que se hace de ellos empleando números romanos.

Conocimientos adicionales:

De acuerdo con el orden de salida en la superficie del encéfalo los pares craneales se clasifican en:

I par u olfatorio.- Es nervio sensitivo, se origina en la mucosa de la nariz, está formada por axones de las neuronas bipolares de la zona olfatoria. Los axones atraviesan la lámina cribosa del etmoides y terminan en el bulbo olfatorio, situado en la parte anterior e inferior del cerebro. Transmite impulsos nerviosos generados por estímulos químicos. Es el nervio del sentido del olfato.

II par u óptico.- También es un nervio sensitivo. Se origina por los axones de las neuronas ganglionares de la retina. Transmite impulsos nerviosos generados por estímulos luminosos. Los impulsos son conducidos hacia el quiasma óptico sale de esta estructura formando las cintillas ópticas que se dirigen al tálamo y al mesencéfalo y terminan en la cisura calcarina del lóbulo occipital. Es el nervio del sentido de la visión.

III par o motor ocular común.- Es un nervio motor. Se origina de núcleos neuronales situados en el mesencéfalo y extiende sus ramificaciones hacia los músculos de los ojos: recto superior, oblicuo inferior, recto medial, en los músculos ciliares y en el elevador del párpado superior. Como su nombre lo indica produce los movimientos hacia abajo y arriba y hacia adentro del globo ocular

IV par o troclear (patético). - También es un nervio motor. Se origina de núcleos de neuronas situados en el mesencéfalo en las paredes del acueducto de Silvio. E inerva al músculo oblicuo mayor u oblicuo superior de los ojos. Produce el movimiento hacia abajo y afuera del globo ocular.

V par o trigémino.- Es un nervio mixto. Sus fibras **motoras** se originan en la protuberancia anular y se dirigen a los músculos masticadores. Las ramas **sensitivas** son tres: La rama oftálmica, la rama maxilar (maxilar superior) y la rama mandibular (maxilar inferior). Las fibras sensitivas terminan en el ganglio de Gasser, situado en una concavidad de la porción petrosa del hueso temporal.

La rama **oftálmica** proporciona sensibilidad a la córnea, la frente y el cuero cabelludo. La rama **maxilar** recoge la sensibilidad de la parte superior de la mejilla, el techo de la boca, la mucosa de la nariz y de los dientes superiores. La rama **mandibular** da la sensibilidad a la piel del mentón, a la región temporal, la boca, la parte inferior de la mejilla, la lengua y los dientes inferiores.

VI par o motor ocular externo.- Es un nervio motor. Se origina en el piso del cuarto ventrículo y sus fibras se dirigen al músculo recto lateral o recto externo del globo ocular. Produce el movimiento del ojo hacia afuera.

VII par o facial.- Es un nervio mixto. Su porción motora se origina en la protuberancia anular, sus ramificaciones inervan los **músculos de la cara** que dan la **expresión facial**. También inerva a las glándulas salivales **sublingual** y **submaxilar** promoviendo la secreción de saliva. La porción sensitiva proviene de terminaciones nerviosas situadas en las **papilas gustativas** de la **punta** y el **cuerpo de la lengua**. La estimulación es del tipo química. Recoge sensaciones de sabor.

VIII par o vestíbulo coclear.- Es un nervio sensitivo. Inerva el **oído interno**. Presenta dos ramas, la **coclear o auditiva**, que se origina de fibras nerviosas provenientes de células sensoriales del **órgano de Corti**, situado en la cóclea o caracol. Transmite impulsos generados por ondas sonoras y, la **rama vestibular**, cuyos axones provienen de **células sensoriales** situadas en los conductos semicirculares (**crestas ampulares**) y en el utrículo y el sáculo (**máculas**). Captan sensaciones de movimiento de la cabeza y del equilibrio. Las fibras se dirigen hacia la protuberancia anular.

IX par o glossofaríngeo.- Es un nervio mixto. Su porción motora se origina en la médula oblonga y se dirige a la glándula **salival parótida**, a los **músculos de la faringe**. Su porción sensitiva recoge estímulos de sabor en el tercio posterior (raíz) de la lengua y de la mucosa faríngea; las fibras sensitivas terminan en la médula oblonga. Proporciona sensibilidad y movimiento a la faringe (movimientos de deglución). Son fibras responsables del reflejo nauseoso.

X par o nervio vago (neumogástrico). - Es un nervio mixto. Sus fibras motoras se originan en la médula oblonga y tienen una distribución sumamente amplia, inervan la faringe, el tracto respiratorio, el corazón, estómago, intestino delgado e intestino grueso, la vesícula biliar, páncreas, riñones, etc. De estos mismos órganos parten las fibras sensitivas que también llegan a la médula oblonga. Dan sensibilidad y movimiento (involuntario) a los órganos que inerva.

XI par o espinal accesorio.- Es un nervio motor. Sus fibras se originan de la médula oblonga y se dirigen a los músculos de la faringe y la laringe. Inervan los músculos esternocleidomastoideos y el trapecio produciendo en ellos movimientos voluntarios de estos músculos por ejemplo movimientos laterales de la cabeza y movimientos de los hombros.

XII par o hipogloso.- Es un nervio motor. Se origina de la médula oblonga y sus fibras inervan los músculos de la lengua permitiendo sus movimientos.

Regeneración de los nervios.

A diferencia de las neuronas que una vez destruidas no es posible que se regeneren a partir de otras neuronas, las ramificaciones nerviosas axónicas pueden ser restauradas mediante una serie de eventos morfológicos y metabólicos generados desde el cuerpo neuronal que, en conjunto se

denomina **reacción axoniana**; observar la figura Tej. y Sist. Nerv. 106.

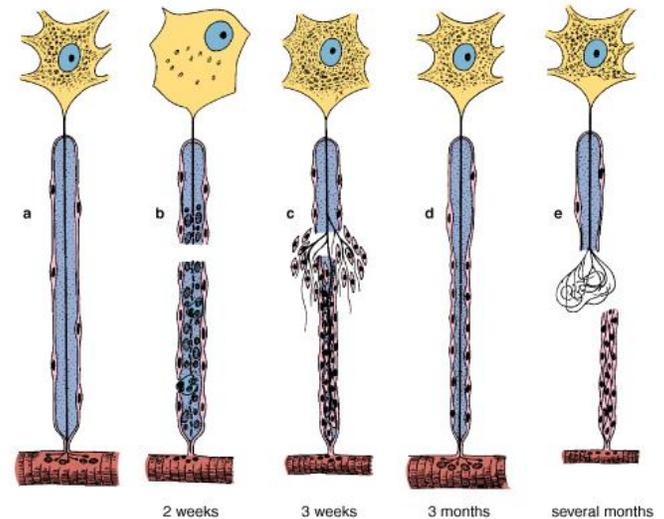


Figura Tej. Y Sist. Nerv. 106. Representación esquemática de las diversas fases de la regeneración de una fibra nerviosa seccionada. a) fibra nerviosa normal, b) fibra nerviosa seccionada, c) respuesta celular de regeneración positiva, d) fibra nerviosa regenerada y e) respuesta de regeneración negativa.

Producida la lesión de la fibra nerviosa se instauran tres procesos de regeneración localizados en:

- A) En el **sitio de la lesión**, se producen los **cambios locales**. Estos consisten en la separación o retracción de las extremidades seccionadas del axón. El plasmalema de cada muñón cubre el extremo lesionado evitando con ello que se pierda axoplasma. Allí se acumula el material celular resultado del flujo axoplásmico, produciendo la dilatación de los muñones. A través de la circulación sanguínea llegan macrófagos que fagocitan los restos del material destruido.
- B) En el **extremo distal** del sitio de la lesión, se producen los **cambios anterógrados**. Estos consisten inicialmente en la hipertrofia del extremo distal del axón, la separación y degeneración de la unión sináptica y la proliferación, alrededor del axón, de abundantes células de Schwann las cuales establecen una acumulación celular entre el muñón axónico proximal y la superficie de contacto sináptico. A este proceso se le conoce como degeneración **Walleriana**.

Posteriormente macrófagos y células de Schwann fagocitan los residuos celulares existentes (restos del axón y de la vaina de mielina). Una de las condiciones que deben existir para que la proliferación de células de Schwann permanezca alrededor del axón seccionado es que el endoneuro y el perineuro no hayan sido lesionados.

- C) En el **extremo proximal** del sitio de la lesión, se producen los **cambios retrógrados**. El primer indicio

de estos cambios ocurre en el cuerpo neuronal, en la forma de **cromatolisis**; ésta consiste en: el incremento de volumen del pericarión, los grumos de Nissl disminuyen en cantidad y se dispersan y el núcleo se desplaza hacia la periferia. El muñón del axón proximal y su envoltura de mielina degeneran y son fagocitados por macrófagos y las células de Schwann nuevas.

El R.E.R que aún persiste en el cuerpo de la neurona continúa sintetizando proteínas que serán las que, junto con fosfolípidos sintetizados por el R.E.L., se incorporan al extremo sano del muñón proximal, iniciándose así la proliferación y crecimiento de "primordios" o ramificaciones axónicas nuevas. Éstos serán guiados por el endoneuro y la vaina de células de Schwann para dirigirse al extremo distal. La ramificación que primero entra en contacto con la célula blanco es la que establece la unión sináptica. Las otras ramificaciones degeneran. Posteriormente las células de Schwann que rodean a la nueva ramificación axónica le elaboran la vaina de mielina.

B) Ganglios nerviosos. Los grupos de neuronas que se originaron de las crestas neurales y mediante migración, durante la etapa embrionaria, se trasladaron fuera del sistema nervioso central para ponerse en contacto con tejidos y órganos, forman los llamados ganglios nerviosos. Los ganglios nerviosos son de dos tipos:

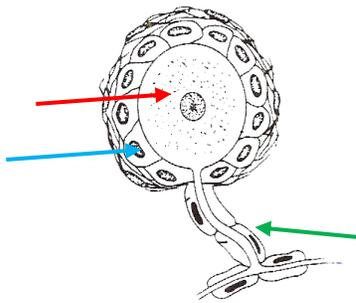


Figura Tej. Y Sist. Nerv. 107. Esquema de una neurona pseudomonopolar integrante de un ganglio raquídeo, rodeada de células "satélites" o anficitos. Flecha roja: Soma neuronal; flecha azul: células satélites o anficitos y flecha verde: prolongación neuronal única rodeada de células de Schwann.

a) **ganglios cerebroespinales o cefalorraquídeos**, localizados en las inmediaciones del encéfalo y de la médula espinal. Están formados por agrupaciones de neuronas pseudomonopolares o neuronas tipo "T", una de cuyas prolongaciones se dirige hacia células y tejidos terminales sensoriales de la piel, músculos, tendones y articulaciones, etc. mientras que la otra se dirige al encéfalo o a la médula para formar la raíz posterior de los nervios craneales o raquídeos, observar el esquema de la figura Tej. Y Sist. Nerv. 107)

Los cuerpos neuronales se encuentran rodeados de células gliales con características funcionales similares a los astrocitos, pues intervienen activamente como intermediarias en el metabolismo neuronal, reciben el nombre de "**células satélites**" o "**anficitos**".

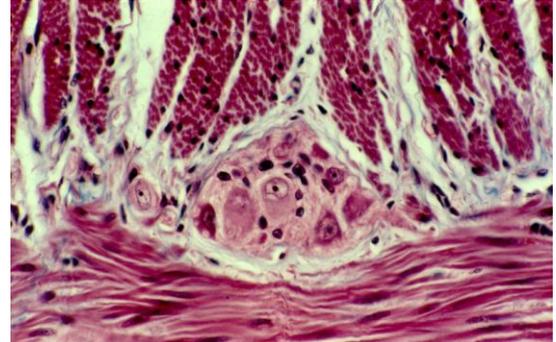


Figura tej. y Sist. Nerv. 108. Microfotografía de un ganglio nervioso autónomo o intramural. Ganglio que integra el plexo mioentérico o de Auerbach. Túnica muscular del intestino delgado H-E 400x

b) **ganglios viscerales, autónomos o intramurales.** Se denominan así por estar localizados en las cercanías o en el interior de tejidos y órganos.

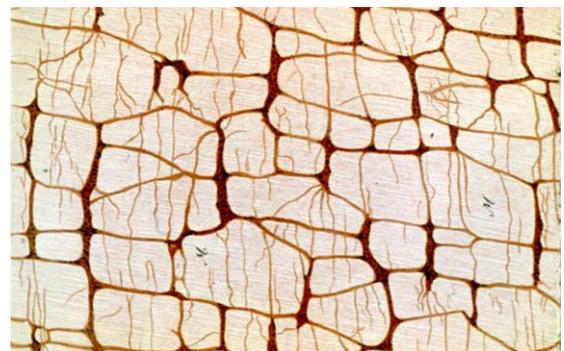
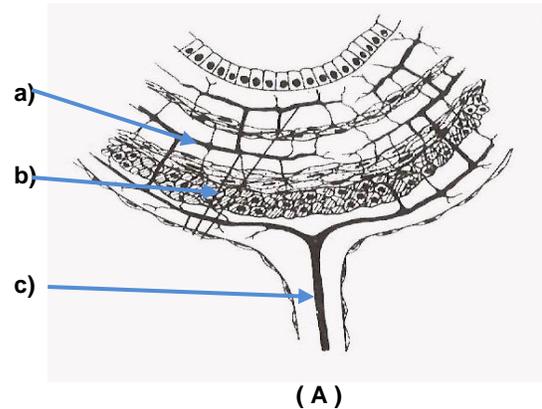


Figura Tej. y Sist. Nerv.109. Representación esquemática de la disposición del sistema neurodigestivo. A) Distribución de las ramificaciones nerviosas de los plexos de a) Meissner (submucoso), b) de Auerbach (Mioentérico) y c) rama nerviosa mesentérica; B) Disposición de los ganglios mioentéricos del plexo y la relación sináptica que se establece entre las neuronas. Impregnación argéntica.

Entre las unidades funcionales de órganos parenquimatosos como las glándulas salivales, páncreas, etc. o entre las capas que forman los órganos membranosos como el intestino, estómago, corazón, grandes vasos sanguíneos etc. Los integran neuronas multipolares, generalmente de gran tamaño, 50 a 60 micrómetros de diámetro cuyos cuerpos neuronales también están rodeados de células satélites o anficitos. Figuras tej. Y Sist. Nerv. 108, 109, 110, 111, 112 y 113.

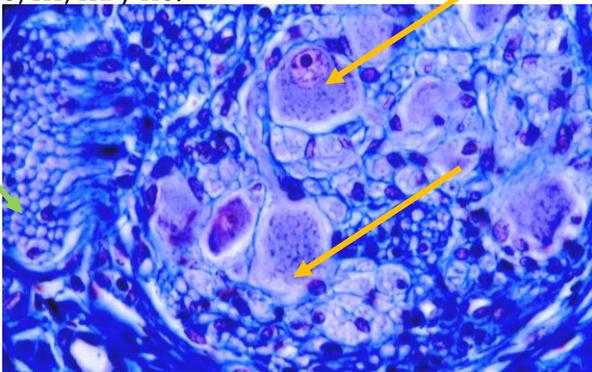


Figura Tej. Y Sist. Nerv. 110. Ganglio nervioso intramural o visceral; localizado en el estroma de una glándula salival. Se observan somas neuronales, rodeadas con algunos núcleos de células satélites o anficitos (flechas amarillas). Al lado izquierdo se visualizan secciones transversales de axones de un haz nervioso (flecha verde). Tricrómico de Mallory. 400x.

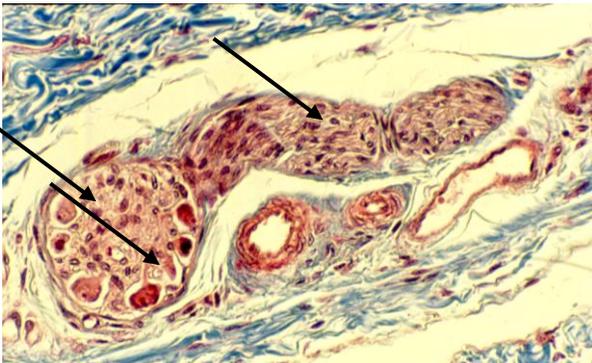


Figura Tej y Sist. Nerv. 111. Fotomicrografía de un ganglio visceral localizado en la pleura visceral de pulmón. A la izquierda se muestra un conjunto de neuronas rodeadas de tejido conjuntivo y a la derecha un conjunto de fibras nerviosas. Tricrómico de Masson. 200x y de

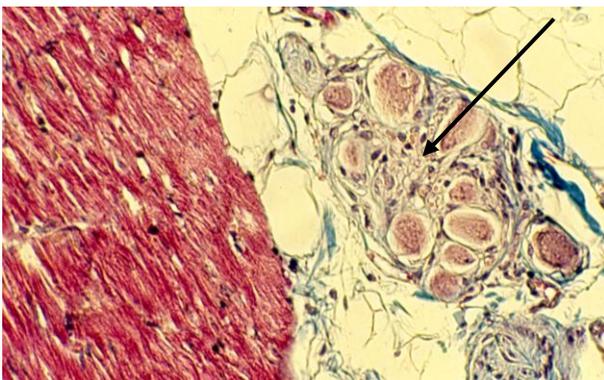


Figura Tej. y Sist. Nerv.112. Fotomicrografía de un ganglio visceral localizado en el epicardio del corazón. A la izquierda se muestra secciones oblicuas de miocardio y a la derecha un conjunto de neuronas integrando un ganglio nervioso. Tricrómico de Masson. 200x

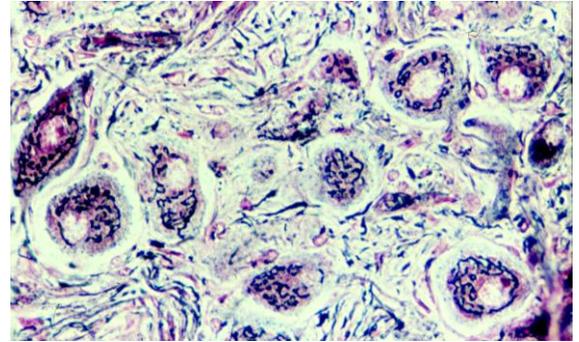


Figura Tej. y Sist. Nerv. 113. Fotomicrografía de ganglio estrellado, cavidad abdominal. Neuronas multipolares en cuyo citoplasma se observa los dictiosomas del aparato de Golgi. Impregnación argéntica de D'Fano + Rojo nuclear. 400x

Las prolongaciones axónicas, generalmente amielínicas se dirigen a células y tejidos efectores. Las dendríticas hacen sinapsis con axones provenientes de neuronas situadas en los ganglios nerviosos cerebrospinales o con núcleos de neuronas localizados en el encéfalo o la médula.

C) Terminaciones nerviosas. Las terminaciones nerviosas son estructuras del sistema nervioso periférico que se encargan de:

- Recibir los estímulos generados en el medio externo o en el medio interno. Se les conoce como terminaciones nerviosas sensoriales o aferentes o de acción centripeta.
- Transportar el impulso nervioso o respuesta, generado por el estímulo percibido, hacia las células efectoras cuyas actividades suelen ser motrices o secretoras. También se les denominan fibras nerviosas eferentes o de actividad centrifuga.

Características morfológicas y funcionales de las terminaciones nerviosas.

Terminaciones nerviosas aferentes (sensoriales).

Los órganos del sistema nervioso central realizan sus funciones aferentes y eferentes por la existencia de un conjunto de órganos y estructuras sensoriales (órganos de los sentidos) capaces de captar y transmitir una serie de estímulos externos e internos. Gracias a ellos es posible que un ser humano pueda percibir conscientemente o no, una serie de estímulos para establecer una vida de relación externa e interna y que su organismo pueda funcionar de manera coordinada y eficiente.

Los órganos y estructuras receptores de los estímulos se pueden agrupar en exteroceptores, viscerosceptores y propioceptores.

La clasificación de las terminaciones nerviosas se observa en el siguiente mapa conceptual:

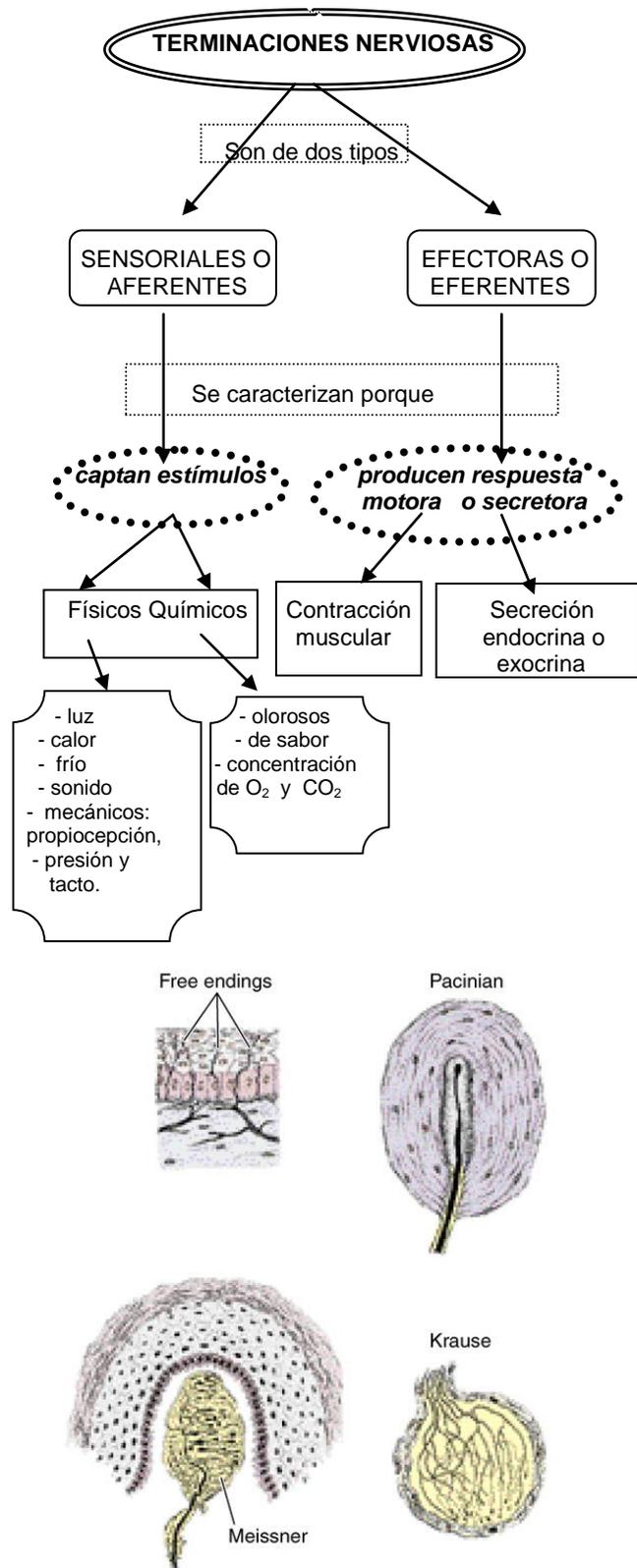


Figura Tej. Y Sist. Nerv 114. Representación esquemática de algunas terminaciones nerviosas sensoriales o aferentes. Junqueira y Carneiro

a) **Exteroceptores.** Captan la información del medio que nos rodea Fig. Tej. Nerv. 114. Los estímulos que perciben nos permiten **ver** (retina de los ojos), **oír** (órgano de Corti en el oído interno), **saborear** (botones gustativos en la lengua), **oler** (mucosa olfatoria de la nariz) y sentir el **contacto**, la **presión**, la **temperatura** y el **dolor** (en la piel.).

b) **Visceroceptores.** Están localizados en los órganos internos (vísceras) y vasos sanguíneos. Captan los estímulos del medio interno. Muchos de los estímulos no se hacen conscientes, en cambio la respuesta y el efecto causado por esos estímulos si los podemos percibir, por ejemplo el dolor visceral, la fatiga, hambre, náuseas, sed, etc.

c) **Propioceptores.** Se localizan en los músculos, tendones y articulaciones: También se encuentran estos receptores en la porción vestibular del oído interno (conductos semicirculares, el utrículo y el sáculo). Se encargan de captar estímulos que nos indican la posición, la orientación, los movimientos y el sentido del equilibrio de las diferentes partes del cuerpo.

Exteroceptores de la piel. Las estructuras sensoriales localizadas en la piel tienen como función captar sensaciones de dolor, tacto, presión calor y frío. Los estímulos mencionados se perciben por dos grandes grupos de terminaciones nerviosas:

Terminaciones nerviosas desnudas. Son ramificaciones de fibras nerviosas carentes de envoltura de mielina. Se caracterizan porque están situadas en la porción papilar de la dermis y penetran entre los queratinocitos de las capas germinativa y espinosa de la epidermis.

Captan sensaciones de dolor, tacto fino, calor y frío. Están distribuidas en toda la superficie corporal, pero la distribución no es uniforme. En determinados lugares como los dedos de la mano, la cara, los labios son más abundantes que en otras regiones del cuerpo. Están presentes entre las capas más profundas de la córnea. Existen en la dentina y la pulpa dentaria. Se consideran que captan primordialmente sensaciones dolorosas. Por el calibre que tienen (son sumamente delgadas), requieren de estímulos intensos, generalmente dañinos, que ocasionan dolor. Por esa razón también se les conoce como **nociceptores**.

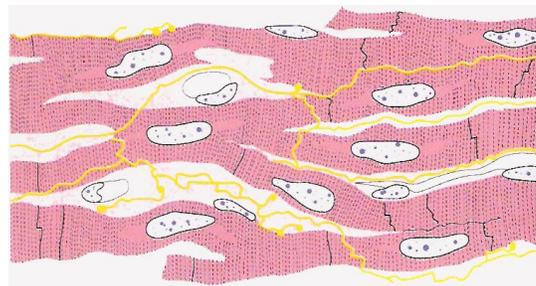


Figura Tej. y Sist. Nerv. 115. Representación esquemática de fibras nerviosas desnudas relacionadas con haces de fibras musculares estriadas cardiacas,

También se distribuyen profusamente en el tejido conjuntivo de los mesotelios: peritoneo, pericardio, pleuras pulmonares (parietal y visceral) y capas vaginales de las bolsas escrotales. En ciertos lugares como el músculo cardíaco también es posible observarlas como en la figura Tej. y Sist. Nerv. 115.

- **Terminaciones nerviosas cubiertas.** - pueden ser en forma de discos o corpúsculos.

- **Los discos de Merkel,** o células de Merkel. Se sitúan entre las células de la capa espinosa o basal de la epidermis (fig. Tej. Nerv. 116 y 117). Son células neuroepiteliales que, durante el desarrollo embriológico migran desde las crestas neurales para colonizar el estrato más profundo de la epidermis en formación.

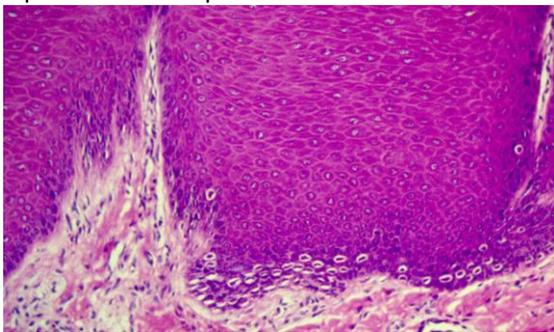


Figura Tej. Y Sist. Nerv. 116. a) Microfotografía de epidermis gruesa (Hocico de cerdo) con abundantes células o discos de Merkel. Tinción H-E. 100x

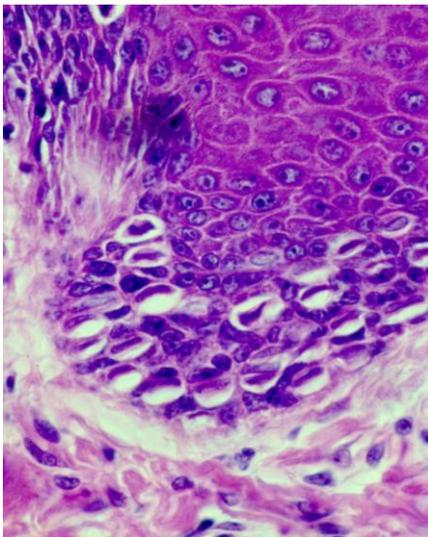


Figura Tej. y Sist. Nerv. 117. b) Microfotografía de epidermis gruesa (Hocico de cerdo) con abundantes células o discos de Merkel. Tinción H-E. 1000x

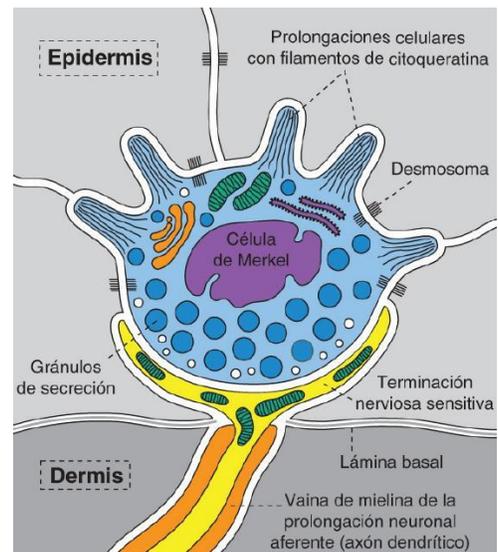
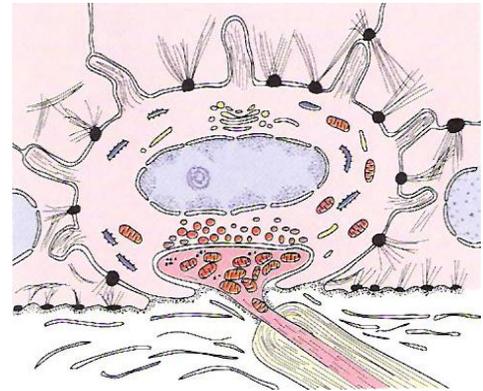


Figura Tej. Nerv. 118. Esquemas de células de Merkel representando la relación existente entre el soma de la célula, las células epidérmicas y las ramificaciones nerviosas aferentes. Junqueira y Carneiro, 2007 y Welsch y Sobotta. Histología 5ª edición. 2009. Página 609, respectivamente

Estas células tienen una forma poliédrica, ligeramente aplanada, en cuya superficie interna o convexa se adosan ramificaciones nerviosas, cuyos extremos sinápticos se expanden levemente. Poseen un citoplasma claro, con escasas granulaciones esféricas densas; el núcleo es ovalado con una ligera escotadura (fig. Tej. Nerv. 117 y 118). Estudios inmunohistoquímicos demuestran que los gránulos contienen neurotransmisores que se liberan en el espacio sináptico.

Los estudios neurofisiológicos indican que son células sensoriales que responden a estímulos leves de presión o roce. Captan sensaciones de tacto fino.

Corpúsculos de Meissner, La fibra nerviosa pierde su vaina de mielina y se ramifica en forma de zigzag; las ramificaciones se rodean de una capa fina de tejido conjuntivo y entre ellas se disponen algunas células de Schwann. Tienen una forma ovoide y ocupan el lugar de las papilas dérmicas (fig. Tej. Nerv. 119. A y B). Captan

estímulos de tacto superficial. Son abundantes en las yemas de los dedos, en las palmas de las manos y alrededor de los pezones.



Figura Sist. Nerv. 119. Representaciones esquemáticas y fotomicrografía de corpúsculos de Meissner. A) Sobotta, 1904. B) Welsch y Sobotta, 2009. A') Fotomicrografía de piel de pulpejo de dedo. Tricrómico de Masson 400x Welsch y Sobotta, 2009

- **Corpúsculos de Paccini.** Son las terminaciones nerviosas más voluminosas del organismo. Adoptan una forma ovalada u redondeada Fig. Tej. Nerv. 120. La fibra nerviosa se desprende de su vaina de mielina y se rodea de sucesivas láminas conjuntivas concéntricas y de fibroblastos (fig. Tej. Nerv. 120 b). Existe un líquido ligeramente denso que llena los espacios que existen entre lámina y lámina. Los corpúsculos de Paccini se localizan en la dermis profunda y en la hipodermis, en el periostio, en las cápsulas fibrosas articulares y también en el mesenterio. Son notoriamente abundantes en el tejido que circunda a las unidades secretoras y conductoras del páncreas de felinos (gatos). Captan estímulos de presión (tacto profundo).



Figura Tej. Y Sist. Nerv. 120 A. Imagen total de un corpúsculo de Paccini en el mesenterio de gato. Se observa su forma ovalada y una zona central más clara donde se sitúa el axón. En la parte inferior se distingue el recorrido longitudinal de un vaso sanguíneo. Preparación "in toto", tinción con hematoxilina. 100x.

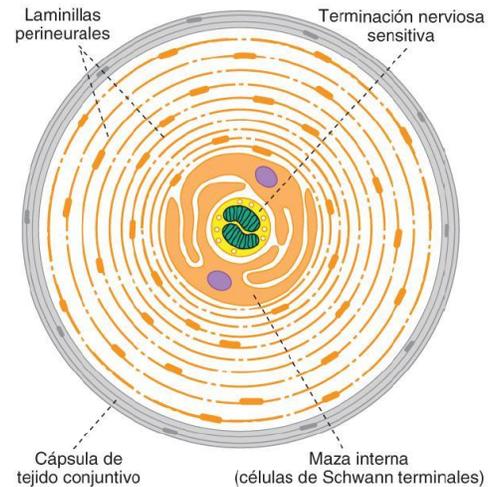
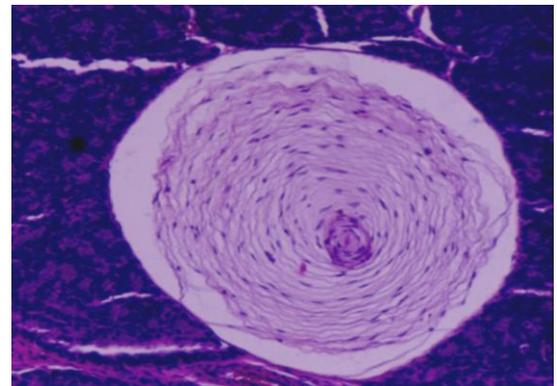


Figura Tej Nerv. 120 b. Representación esquemática de una sección transversal de un corpúsculo de Paccini. Se observan los diversos componentes nerviosos y conjuntivos que integran la terminación nerviosa. Sobotta y Welsch.



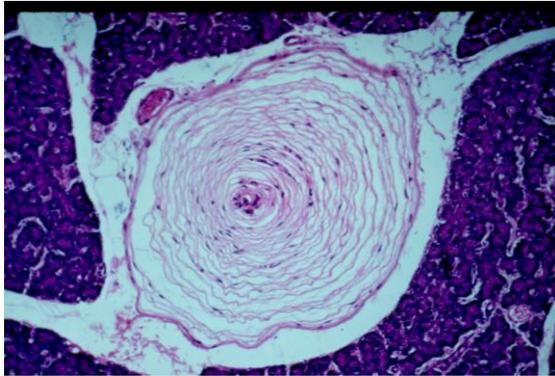


Figura Tej. Nerv. 120 c. Fotomicrografías de corpúsculos de Vater Paccini localizados en el tejido conjuntivo de páncreas de gato. Tinción con Hematoxilina – Eosina. 200x.

- **Corpúsculos de Ruffini.** Fueron considerados antiguamente como los receptores para el calor. En la actualidad se les asigna la capacidad de captar estímulos de tacto y presión. La fibra nerviosa se ramifica y adopta la forma alargada como un pequeño mazo, se rodea de finas capas de tejido conectivo, fibroblastos y algunas células de Schwann. Se sitúan en la dermis, hipodermis y en las cápsulas articulares.

- **Corpúsculos bulbosos (genitales, de Krause, etc.).** - Se les asignó la capacidad de recibir estímulos de frío. Actualmente, al igual que los dos anteriores perciben sensaciones de tacto profundo o presión: Están formados por la ramificación de la fibra nerviosa, envuelta en una especie de fina cápsula conjuntiva ovoide o esférica, llena de líquido denso (fig. Tej. Nerv. 114). Se les encuentra en la hipodermis, en la piel de los genitales externos, fosas nasales y abertura bucal.

Los distintos tipos de terminaciones nerviosas se revisarán de manera más extensa cuando formen parte de los componentes de los aparatos y sistemas que estudiarán en los capítulos futuros.

Propioceptores. Este tipo de terminaciones nerviosas sensoriales se sitúa entre los haces de fibras musculares estriadas esqueléticas (**husos neuromusculares**) y entre los haces de fibras colágenas de los tendones (**husos neurotendinosos**). También se les localiza en los tejidos conjuntivos que forman las articulaciones.

Huso neuromuscular. Está constituido por un conjunto de fibras musculares estriadas esqueléticas modificadas, rodeadas de una cápsula de tejido conjuntivo (perimisio). Las fibras son de menor calibre que las fibras musculares que las rodean. Una serie de terminaciones nerviosas penetran la cápsula y se ponen en contacto con las fibras musculares (fig. Tej. Nerv.121 a)

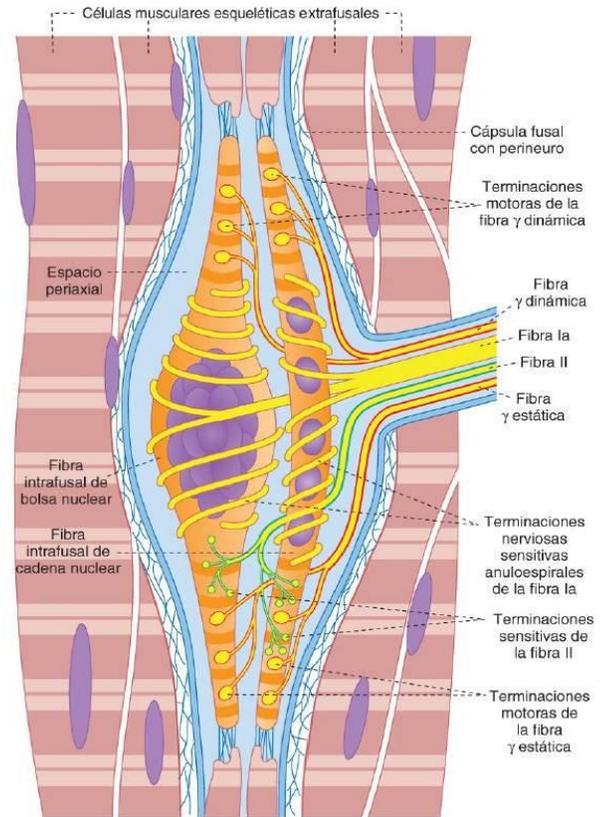


Figura Tej. Nerv. 121a. Representación esquemática de un huso neuromuscular. Welsch y Sobotta. Histología 5ª edición. 2009,

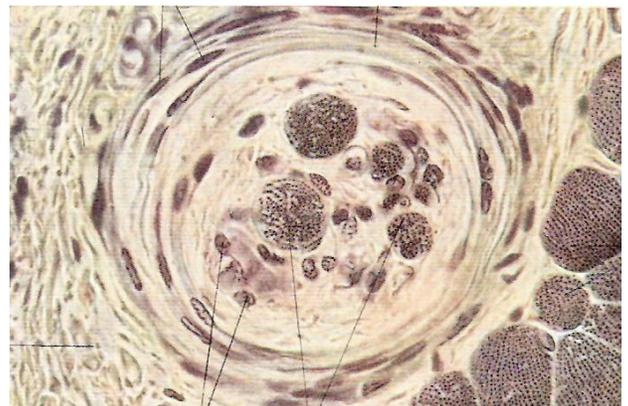


Figura Tej. Nerv. 121 b. Fotomicrografía de la sección transversal de un huso neuromuscular. Las fibras musculares intrafusales y las ramificaciones nerviosas se observan rodeadas de tejido conjuntivo. Tinción de Hematoxilina férrica. 600x

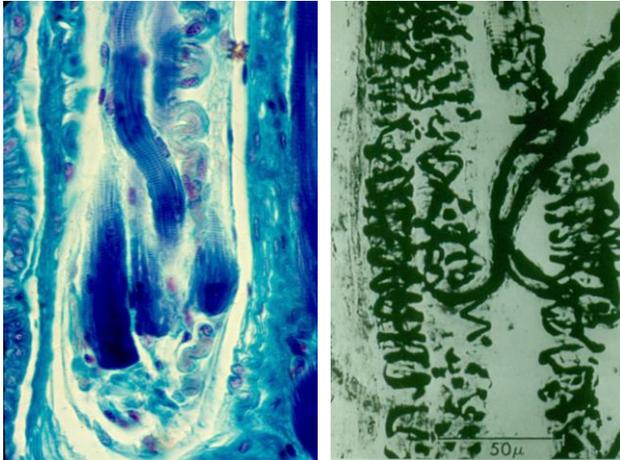


Figura Tej. Nerv. 121 c. Fotomicrografías de husos neuromusculares La imagen de la izquierda está coloreada el tricrómico de Shorr y la de la derecha es una impregnación argéntica para demostrar la innervación abundante de las fibras intrafusales. 1000x

En el interior del huso se pueden distinguir dos tipos de fibras musculares: Unas más gruesas en las que los núcleos se disponen en dos o tres hileras, en la parte central de la fibra. Se denominan **fibras de bolsa nuclear** y otras de menor calibre en donde los núcleos, también agrupados en el centro de las fibras, lo hacen en una sola hilera, se les conocen como **fibras de cadena nuclear**; ver figura 121a.

Las ramificaciones nerviosas que atraviesan la cápsula conjuntiva son de dos tipos A) **aférentes** que, a su vez son **aférentes primarios** (gruesos), éstos rodean a las fibras de manera espiralada y, los **aférentes secundarios** (delgados), que se disponen en ramificaciones finas conocidas como "terminales en ramo de flores" y B) **eférentes**, que terminan sobre las fibras intrafusales de bolsa nuclear en la forma de placas motoras típicas mientras que en las fibras de cadena nuclear se disponen a lo largo de ella, en "forma de huella".

El huso neuromuscular funciona como un receptor de tracción pues las fibras intrafusales se estiran cuando de manera simultánea, se estiran las extrafusales, estimulando así a las terminaciones nerviosas aferentes. Gracias a esta capacidad sensorial se mantiene cierta tensión o **tono** del músculo.

Husos neurotendinosos. También se les conoce como órganos tendinosos de Golgi. Se sitúan en la transición de los haces de fibras musculares y el tendón. Están constituidos por haces de fibras colágenas rodeadas de una cápsula fina de tejido conjuntivo. Ésta es atravesada por fibras nerviosas mielínicas aferentes que se disponen, entre los haces de fibras colágenas, como pequeñas dilataciones en forma de botones terminales (Fig. Tej. Nerv. 122). Las terminaciones nerviosas son estimuladas durante la contracción muscular cuando el tendón está

sometido a tensión y así registran la contracción activa del músculo.

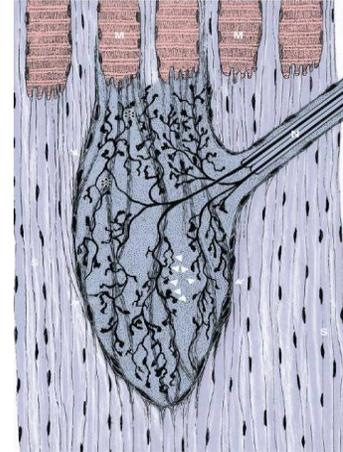


Figura Tej. Nerv. 122. Representación esquemática de un huso neurotendinoso Welsch y Sobotta. Histología 5ª edición. 2009.

Terminaciones nerviosas eferentes o efectoras (motoras y secretoras)

Las terminaciones nerviosas eferentes son aquellas que generan una respuesta ante el estímulo recibido. Son de dos tipos las motoras y las secretoras.

Terminaciones nerviosas motoras: son ramificaciones nerviosas axónicas localizadas en las superficies membranales de las células contráctiles: fibras musculares estriadas esqueléticas (contracción voluntaria) o cardíacas y las fibras musculares lisas (contracciones involuntarias o viscerales).

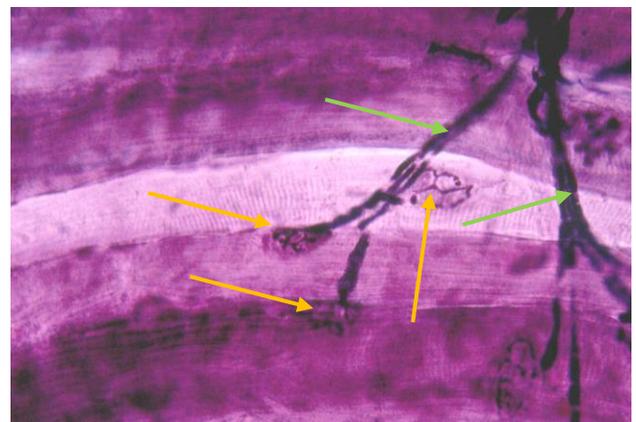


Figura Tej. Nerv. 123. Fibras musculares estriadas esqueléticas mostrando ramificaciones axónicas (flechas verdes) y las placas neuromusculares (flechas anaranjadas). Impregnación áurica de Ruffini. 1000x

Placas neuromotoras. Los axones provenientes de neuronas localizadas en las astas ventrales de la sustancia gris de la médula espinal se dirigen a través de los nervios raquídeos a los músculos estriados esqueléticos y se ramifican en las cercanías membranales de las fibras musculares para insertarse en ellas, originando en sus

extremos ensanchamientos que poseen, a su vez pequeñas dilataciones denominadas placas neuromotoras (fig. Tej. Nerv. 123, 124, 125 y 126). Durante la trasmisión del estímulo contráctil, las dilataciones o botones sinápticos de la placa neuromotora liberan el neurotransmisor acetilcolina al espacio intersináptico, esta enzima es captada por la membrana postsináptica a través de receptores membranales propiciado la trasmisión del potencial de acción contráctil (fig. Tej. Nerv. 126, 127, 128 y 129).

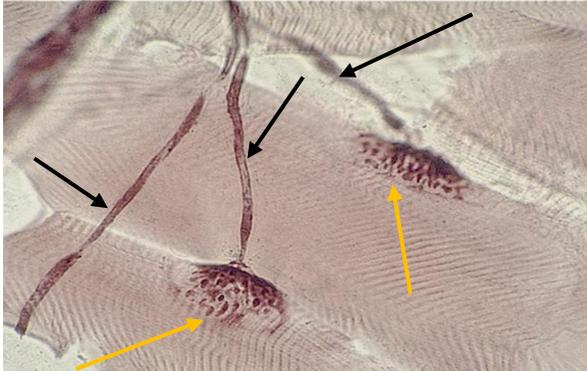


Figura Tej. Nerv. 124. Fibras musculares estriadas esqueléticas mostrando ramificaciones axónicas (flechas negras) y las placas neuromotoras (flechas anaranjadas). Impregnación auríca de Ruffini. 1200x

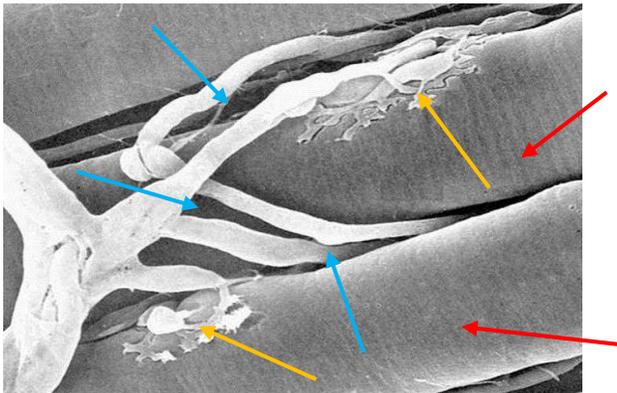


Figura Tej. Nerv. 125. Fotomicrografía electrónica de barrido de fibras musculares (flechas rojas), ramificaciones nerviosas axónicas motoras (flechas azules) y placas neuromotoras (flechas naranjas) 1500x



Figura Tej. Nerv. 126. Fotomicrografía de dos fibras musculares estriadas esqueléticas. En la superficie membranal de una de ellas se observa una placa neuromotora mostrando la presencia histoquímica de acetilcolina. 2000x

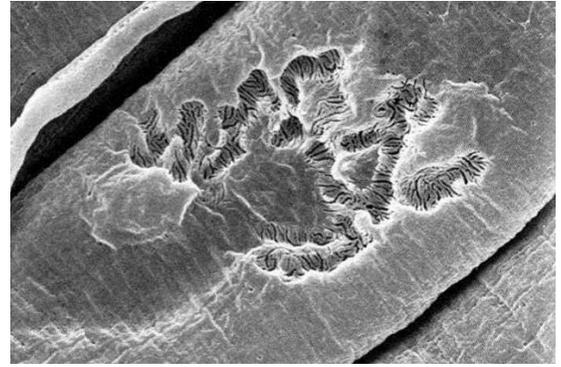


Figura Tej. Nerv. 127. Fotomicrografía electrónica de barrido de la huella de una placa neuromotora inserta en la superficie de una fibra muscular esquelética. Se observan las ramificaciones primarias y secundarias de la placa (hendiduras sinápticas). 6,000x

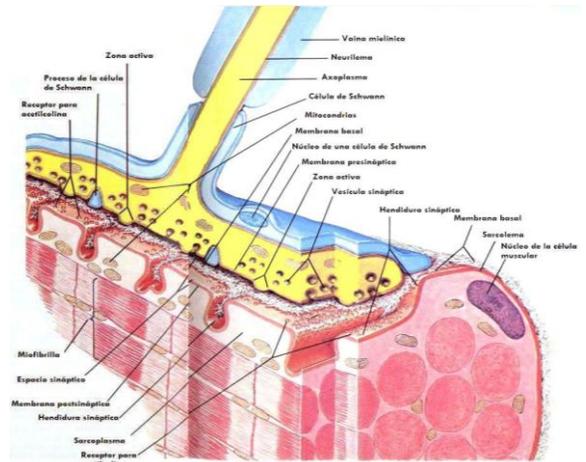


Figura Tej. Nerv. 128. Representación esquemática de una placa neuromuscular. Se indican los diversos componentes musculares y nerviosos de esta terminación nerviosa.

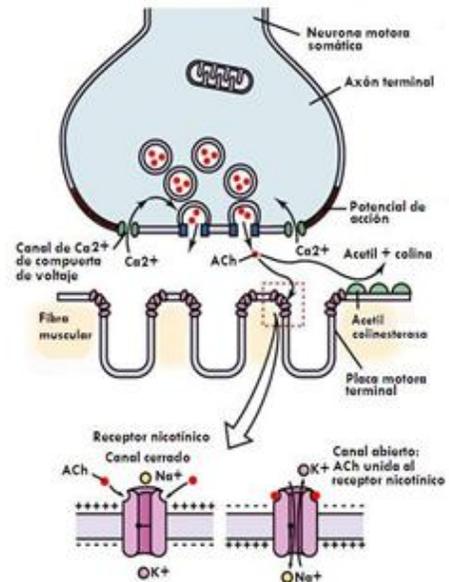


Figura Tej. Musc. 129. Representación esquemática de las diversas etapas bioquímicas que ocurren durante la actividad de la sinapsis neuromuscular.

FUNCIONES DEL SISTEMA NERVIOSO

Como se ha venido mencionando a lo largo del capítulo, las funciones del sistema nervioso tienen como finalidad integrar y coordinar las funciones de todos los órganos, aparatos y sistemas del cuerpo humano. Todos los componentes celulares del organismo están en contacto directo o indirecto con alguna estructura del sistema nervioso o reciben la influencia de las respuestas generadas en él.

La coordinación e integración de las funciones orgánicas se realizan basándose en una integración morfológica funcional que recibe el nombre de arco y acto reflejo, cuyos resultados se traducen en captación de estímulos (voluntarios o involuntarios) y la elaboración de respuestas efectoras (voluntarias o involuntarias).

ARCO Y ACTO REFLEJO.

El arco reflejo es la unidad estructural del sistema nervioso, la unidad fisiológica del sistema nervioso; el acto reflejo es la función realizada.

Los componentes morfológicos (fig. Tej. Nerv. 130) del arco reflejo son:

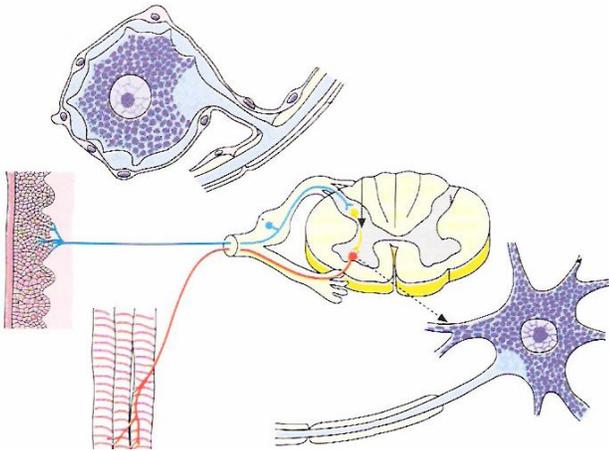


Figura Tej. Nerv. 130. Representación esquemática de los componentes celulares y tisulares que intervienen en un acto reflejo (componentes mínimos de este acto estímulo- respuesta)

- A) **Una estructura receptora o sensitiva.** Es la porción receptora de una neurona, señalada por la flecha azul, encargada de percibir el estímulo para transformarlo en un impulso nervioso (corriente eléctrica) y transmitirlo a B)
- B) **El soma de una neurona sensitiva o aferente** (flecha negra) que conduce el impulso nervioso del receptor a la neurona de conexión
- C) **Una neurona de conexión, internuncial o de asociación,** localizada en el sistema nervioso central, por

ejemplo las denominadas neuronas sensitivas del asta dorsal de la médula espinal. En ciertos casos esta neurona no interviene en el arco reflejo, como por ejemplo en el reflejo rotuliano o patelar (fig. nerv. 131).

- D) **Una neurona motora o eferente** que conduce el estímulo de la neurona internuncial al efector.
- E) **Una estructura efectora,** encargada de realizar la respuesta al estímulo. Puede ser motora o secretora.

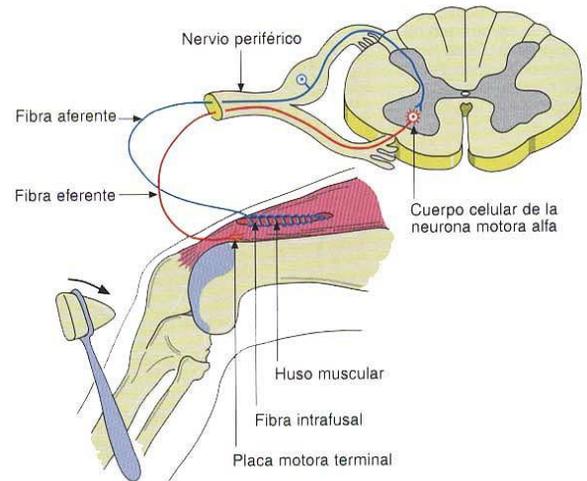


Figura Tej. Nerv. 131. Representación esquemática del reflejo patelar.

Por lo mencionado anteriormente, podemos inferir que existen dos tipos de arcos reflejos. Los denominados **monosinápticos**, que están constituidos por dos neuronas, en él se efectúa una sola sinapsis interneuronal; por ejemplo, en el reflejo rotuliano o patelar; el arco reflejo y el acto reflejo se inician cuando damos un golpe rápido en el tendón localizado debajo de la rótula, el estímulo captado por un huso neurotendinoso y por un huso neuromuscular se trasmite a una neurona sensitiva localizada en un ganglio paravertebral. Las prolongaciones de esta neurona establecen sinapsis con una neurona motora localizada en el asta posterior de la médula espinal, el axón transporta la respuesta a una placa neuromotora localizada en el **músculo cuádriceps femoral** del muslo. Que al contraerse produce la extensión de la pierna.

Existen reflejos de mayor complejidad en los que intervienen el tallo cerebral o el cerebelo. Los ejemplos que ratifican esta correlación sináptica son aquellas comunicaciones establecidas en el sistema nervioso autónomo donde la respuesta o eferencia compromete dos o tres neuronas. Cabe mencionar las correlaciones sinápticas del sistema nervioso visceral, como se observa en los dibujos b y c de la figura Tej. Nerv. 132.

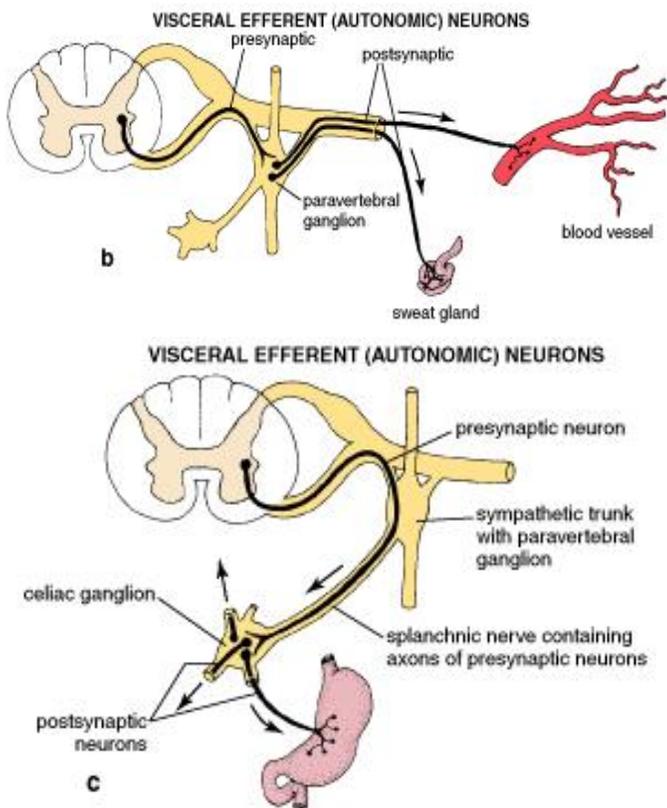


Figura Tej. Nerv. 132. Representación esquemática de la correlación eferente o eefectora de neuronas – sinapsis en el sistema nervioso autónomo o visceral.

Referencias bibliográficas.

- Gartner LP y Hiat JL. *Histología. Texto y atlas*. 3ª edición. McGraw-Hill Interamericana. México. 2008
- Geneser F. *Histología*. 3ª edición. Editorial Médica Panamericana, México. 2000
- Karp G. *Biología Celular y Molecular*. 5ª edición McGraw-Hill Interamericana. México. 2009.
- Roitt I., Brostoff J. y Male D. *Immunology*. 3a edition Mosby. England. 1993.
- Ham, D.H. y Cormack D. *Tratado de Histología*. 8ª edición Editorial Interamericana 1983.
- Krstic, R. V. *Los Tejidos del Hombre y de los Mamíferos*. Editorial Interamericana y McGraw-Hill. 1989
- Junqueira, L.C. and Carneiro, J. *Basic Histology. Texto y Atlas*. 11a Edition. McGraw-Hill. 2005
- Becker, W.M., Kleinsmith, J.H. and Hardin, Jeff. *El mundo de la célula*. Editorial Pearson y Addison Wellely.2007.
- Sobotta, J. y Welsch, U. *Histología*. 2ª edición. Editorial medica panamericana. 2009.
- Von Herrath, E. *Atlas de histología y anatomía microscópica humanas*. Editorial Científico-Médica. 1965.
- Boya-Vegue, J. *Atlas de Histología y Organografía microscópica*. Editorial Médica Panamericana. 1996.
- Ross, M. H., Pawlina, W. *Histología. Texto y Atlas color con Biología Celular y Molecular*. 5ª edición. Editorial Médica panamericana.2007.