

CUADERNO DE BIOLOGÍA HUMANA

Sistema Nervioso



Autores:

**Eduardo Audisio – Sabrina Cavallaro – María Laura
Ferrer - Pablo Martino - Romina Scaglia - Marina
Terrádez – Mauro Torales - Juan Diego Vaamonde**

Rosario, Argentina

2025

Audisio, Eduardo – Cavallaro, Sabrina – Ferrer, María Laura – Martino, Pablo -
Scaglia, Romina – Terrádez, Marina – Torales, Mauro - Vaamonde, Juan Diego
Cuaderno de Biología Humana: Sistema Nervioso. 1º edición. Julio 2025.
Rosario (2000) Argentina.
Libro digital, PDF.
ISBN 978-631-00-9778-7

Índice

	Página
1. Prólogo.....	4
2. Comunicación intercelular. Eduardo Audisio.....	5
3. Transmisión en el sistema nervioso. Eduardo Audisio.....	12
4. Plasticidad neuronal. Pablo Martino.....	27
5. Divisiones del sistema nervioso. Romina Scaglia.....	40
6. Estructuras protectoras. Romina Scaglia.....	52
7. Médula espinal. Juan Diego Vaamonde.....	69
8. Tronco encefálico. Mauro Torales.....	76
9. Cerebelo. María Laura Ferrer.....	85
10. Diencefalo. Sabrina Cavallaro.....	90
11. Telencefalo. Eduardo Audisio.....	96
12. El Sistema límbico. Marina Terrádez.....	106

Prólogo

Esta publicación, de acceso libre y gratuito, tiene fines educativos y de difusión del conocimiento de las ciencias biológicas, en su relación con la psicología.

En este primer número se incluyen materiales didácticos elaborados por los docentes de la asignatura Biología Humana, de la Facultad de Psicología, Universidad Nacional de Rosario, Argentina. El tema abordado es el sistema nervioso, teniendo en cuenta sus funciones de integración y regulación en el organismo humano. Se trabajan los niveles celular y sistémico, prestando atención a descripciones anatómicas y funcionales. Siempre adaptadas a los requerimientos de un carrera de psicología.

Este material didáctico es parte de la bibliografía de una de las unidades de la asignatura Biología Humana, que comprende los siguientes contenidos:

Organización del sistema nervioso: división anatómica y división funcional.

Estructuras protectoras: huesos, meninges. Líquido cefalorraquídeo.

Células del tejido nervioso: neuronas y neuroglia. Recepción y conducción de señales eléctricas. Sinapsis eléctrica. Sinapsis química. Principales neurotransmisores. Redes neuronales.

Desarrollo del sistema nervioso humano. Importancia del entorno y de los vínculos afectivos primarios.

Mecanismos celulares del aprendizaje y de la memoria. Plasticidad neuronal.

Neurogénesis en el sistema nervioso del adulto.

Médula espinal. Localización y descripción anatomofisiológica. Interconexiones con otras estructuras del sistema nervioso. Encéfalo: tronco encefálico, cerebelo, cerebro. Localización y descripción anatomofisiológica de cada estructura. Interconexiones.

La elaboración de las fichas bibliográficas contenidas en esta publicación tiene como propósito facilitar el acceso al estudio de las complejas estructuras y de los procesos propios del sistema nervioso.

Los autores

Comunicación intercelular

Eduardo Audisio

Introducción

Los registros fósiles conocidos indican que los primeros organismos vivos aparecieron en nuestro planeta hace, aproximadamente, 3800 millones de años. Desde que surgieron estos seres unicelulares tuvieron que pasar 2500 millones de años de evolución biológica para que se conformaran las primeras agrupaciones de células, constituyendo a los seres vivos pluricelulares. Los organismos pluricelulares complejos que hoy conocemos –plantas, animales y hongos- están formados por células especializadas en cumplir diferentes funciones, todas poseen la misma información genética en cada individuo, pero expresan sus genes en forma diferencial.

El cuerpo humano, constituido por millones de células, tiene diferentes tipos de células especializadas. A partir del cigoto, resultado de la fecundación, se inicia un proceso de desarrollo, donde se produce la multiplicación y la diferenciación celular. Las células diferenciadas constituyen tejidos, y éstos a los órganos, que funcionan armónica y coordinadamente. La multiplicación, la diferenciación y el funcionamiento coordinado pueden lograrse porque las células de los organismos pluricelulares han desarrollado mecanismos de comunicación. Las células no funcionan aisladamente, reciben información del estado en que se encuentra el resto y pueden adecuar, en consecuencia, los procesos que ocurren en las mismas. La evolución de los organismos pluricelulares ha dependido de la capacidad de las células de comunicarse entre ellas.

Además de la comunicación entre las células de un organismo pluricelular, se observa que los seres vivos se comunican con otros de la misma o de diferente especie. Por ejemplo, las bacterias, a pesar de su simplicidad estructural, muestran una gran versatilidad para comunicarse entre sí y con los organismos superiores. Algunas bacterias, que comúnmente crecen en forma individualizada, cuando hay escasez de agua o de nutrientes se agrupan para formar estructuras multicelulares. Estas estructuras formadas por millares de células de una especie bacteriana contienen esporas, es decir, células con una gruesa envoltura que son resistentes a las condiciones ambientales desfavorables. Todo este proceso está controlado por un sistema de señales que comunican a las células bacterianas. Otros ejemplos de comunicación entre individuos de una misma especie, los constituyen las secreciones que los mamíferos utilizan para demarcar su territorio o para manifestar su estado reproductivo. Por su parte, la comunicación también se produce entre organismos

de diferentes especies. En la conocida asociación entre bacterias fijadoras de nitrógeno y plantas leguminosas, las bacterias se instalan en nódulos dentro de los tejidos de la raíces de la planta, las primeras le suministran a la segunda nitrógeno, y ésta le aporta nutrientes a los microorganismos. Todos los cambios que ocurren en las bacterias y en la planta tienen su base en una comunicación recíproca, que empiezan incluso antes de que ambas entren en contacto.

El objetivo de este trabajo es describir los principales mecanismos de comunicación intercelular que se ponen en acción en el organismo humano.

Las células se encuentran inmersas en una red de macromoléculas

Las células de los organismos pluricelulares se encuentran sumergidas en la denominada **matriz extracelular**, dentro de la cual pueden migrar e interactuar. La matriz está compuesta por polisacáridos y proteínas, y sus patrones de organización varían de un tejido a otro. Por ejemplo, la matriz está calcificada en el hueso, es transparente en la córnea o tiene gran resistencia a la tracción en los tendones.

Las moléculas que constituyen la matriz extracelular son producidas y secretadas localmente por las mismas células que constituyen el tejido. Las dos clases de biomoléculas que conforman la matriz son:

1) polisacáridos que generalmente se encuentran unidos a proteínas constituyendo **proteoglucanos**;

2) proteínas que cumplen funciones estructurales y adhesivas.

Las moléculas de polisacáridos y proteoglucanos tienden a adoptar una disposición muy extendida, ocupando un enorme volumen en relación a su masa, y además, son muy hidrofílicas. Todo esto determina que al hidratarse constituyen un gel donde se encuentran embebidas las proteínas. La fase acuosa del gel de polisacárido permite la difusión de nutrientes, metabolitos y mediadores químicos.

Las principales proteínas que conforman la matriz son:

1) **Colágeno**. En realidad son una gran familia de proteínas fibrosas que se organizan en fibrillas. Las fibras de colágeno oponen resistencia a la tracción. Son las proteínas más abundantes del organismo humano, constituyendo un 28% de la masa total de proteínas.

2) **Elastina**. Las moléculas de elastina se ensamblan formando fibras elásticas que se intercalan con el colágeno. Se dice que estas fibras son elásticas, porque tienen la capacidad de recobrar su conformación inicial después de una deformación transitoria. La combinación de colágeno y elastina le confiere a los tejidos las propiedades de resistir a la tensión y de ser elásticos, necesarias para ser funcionales, por ejemplo en el caso de la piel, los vasos sanguíneos y los pulmones.

3) **Fibronectina.** La fibronectina es una voluminosa glucoproteína que presenta lugares específicos de unión con otras macromoléculas de la matriz y para receptores de la superficie celular. De esta forma, estas proteínas adhesivas, facilitan la organización de la matriz y el anclaje de las células a la matriz.

Las moléculas de la matriz extracelular interactúan con receptores de la membrana celular, y a través de ellos, con el **citoesqueleto** de la célula. Se denomina citoesqueleto a la red de filamentos proteicos que se extienden a través del citoplasma, dándole forma a la célula y permitiéndole llevar a cabo movimientos.

Los principales receptores que cumplen con esta intercomunicación entre matriz extracelular y citoesqueleto, son las **integrinas**, una gran familia de glucoproteínas que atraviesan la membrana. La adhesión de las células a los componentes de la matriz resultan ser esenciales para el funcionamiento celular.

Las células que constituyen un tejido se mantienen unidas entre sí

Las células se organizan formando tejidos que, a su vez, se asocian formando los órganos. Estas células, como ya lo señalamos, contactan con una red de macromoléculas, denominada matriz extracelular. Además, las células integrantes de un tejido se mantienen en su lugar por medio de adhesiones intercelulares.

La participación de la matriz y de las adhesiones intercelulares en las interacciones entre las células es diferente en los distintos tejidos. Por ejemplo, en el tejido conjuntivo, que cumple funciones de sostén o de relleno, la matriz extracelular es muy abundante, y las uniones intercelulares están poco representadas. En el otro extremo, el tejido epitelial, que tapiza todas las cavidades y superficies libres del organismo, presenta escasa matriz extracelular y sus células están estrechamente unidas formando láminas.

Las principales uniones celulares que mantienen unidas a las células son regiones especializadas de la membrana, que se describen de la siguiente manera:

1) **uniones de anclaje**, mantienen unidas a las células e imparten fuerza mecánica a los tejidos, son especialmente abundantes en el músculo cardíaco y en la epidermis;

2) **uniones impermeables o de oclusión**, unen y sellan las membranas de células vecinas en los epitelios, por ejemplo, en el epitelio intestinal de los mamíferos impiden el filtrado de sustancias desde la luz intestinal hacia el interior del organismo por los espacios intercelulares –debiendo pasar las moléculas absorbidas por la barrera de permeabilidad selectiva constituida por la membrana celular-.

¿Cómo se comunican las células?

Además de las uniones descritas en el ítem anterior, que se relacionan con la

adhesión intercelular en un tejido, las células establecen interacciones en las cuales se transmite información. Las células de organismos pluricelulares ponen en juego tres estrategias distintas para el paso de información de una a otra, éstas son:

- 1) **moléculas de señalización unidas a la membrana plasmática;**
- 2) **uniones comunicantes;**
- 3) **mediadores químicos.**

A continuación describiremos brevemente estos mecanismos.

Los carbohidratos de membrana en el reconocimiento intercelular

Las células presentan en el lado externo de la membrana celular diferentes oligosacáridos unidos a proteínas o a lípidos de la membrana, formando en el primer caso **glucoproteínas**, y en el segundo, **glucolípidos**. Estos carbohidratos de la superficie celular permiten la adhesión y el reconocimiento entre células vecinas que constituyen un tejido. Estas moléculas situadas en las membranas, posibilitan la comunicación intercelular desde las divisiones iniciales del cigoto, y durante el desarrollo embrionario permiten que las células del embrión adquieran la arquitectura propia de cada etapa. También, los carbohidratos de membrana participan en la interacción con mediadores químicos, virus, bacterias y toxinas. Por su parte, las **integrinas**, ya mencionadas, permiten la interacción entre moléculas de la matriz extracelular y del citoesqueleto.

¿Cómo pueden los carbohidratos cumplir con funciones relacionadas con interacciones específicas? Las principales funciones de los hidratos de carbono son energéticas, como monosacáridos que son fuente de energía para las células y como polisacáridos de reserva, y estructurales, como la celulosa de la pared celular de los vegetales. Las biomoléculas tradicionalmente relacionadas con la información son los ácidos nucleicos y las proteínas, y dicha información está contenida en la secuencia de unión de sus monómeros. Pero, mientras los nucleótidos en los ácidos nucleicos y los aminoácidos en las proteínas, se pueden unir entre sí de una sola manera, los monosacáridos componentes de los oligosacáridos pueden hacerlo de diferentes maneras y establecer distintas ramificaciones. Por ejemplo, con cuatro monosacáridos distintos pueden originarse miles de tetrasacáridos diferentes. Esta diversidad estructural posibilita que los carbohidratos contengan información.

¿Cómo produce la célula a sus glucoproteínas y a sus glucolípidos? Por un lado las proteínas son sintetizadas en ribosomas unidos al retículo endoplasmático rugoso, donde son glucosiladas (se les une un oligosacárido); luego, pasan el aparato de Golgi, donde los oligosacáridos son modificados a través de distintas reacciones químicas, catalizadas por enzimas presentes en dicha organela. Por su parte, los lípidos de membrana son producidos en el retículo endoplasmático liso, y resultan glucosilados y transformados en el aparato de Golgi. Posteriormente, desde esta organela salen vesículas que llevan en su membrana las glucoproteínas y los glucolípidos, que terminaran constituyendo la membrana celular.

Mientras los ácidos nucleicos y las proteínas se sintetizan a través de un sistema de moldes que utiliza siempre las mismas enzimas, para sintetizar los oligosacáridos se requieren numerosas enzimas (proteínas) que están determinadas genéticamente, dando por resultado que el conjunto de carbohidratos de membrana es característico de cada individuo.

Las uniones comunicantes permiten el paso de pequeñas moléculas entre células

Estas uniones consisten en pequeños conductos que comunican a los citoplasmas de células cuyas membranas están en estrecho contacto. En la constitución de estos conductos participan proteínas que atraviesan la membrana, cuando los conductos de dos células adyacentes están alineados se establece un canal acuoso entre ambos citoplasmas.

Estos canales permiten el pasaje de pequeñas moléculas –iones inorgánicos, nucleótidos, monosacáridos o aminoácidos-, sin tener que atravesar las membranas. Por estas uniones no se transportan las macromoléculas –proteínas, ácidos nucleicos o polisacáridos-.

Una de las implicancias funcionales principales de este tipo de unión se observa en los tejidos que tienen células excitables. Por ejemplo, estas uniones participan en una de las formas de transmisión de las señales eléctricas entre células del sistema nervioso, denominada sinapsis eléctrica.

Los mediadores químicos son moléculas liberadas por unas células que actúan sobre otras células

Las células que liberan mediadores químicos lo hacen, en general, mediante exocitosis, y en algunos casos, la secreción se lleva a cabo por difusión a través de la membrana plasmática. En todos los casos, la molécula señal debe ser reconocida por las células destinatarias del mensaje, llamada **célula blanco** o **célula diana**. El

reconocimiento se efectúa por la unión del mediador químico con una proteína específica de la célula blanco, denominada **receptor**. La interacción molécula señal – receptor desencadena una respuesta en la célula diana.

Los receptores pueden ser proteínas de la membrana plasmática, o proteínas localizadas en el citoplasma o en el núcleo. Los primeros se unen a moléculas señal hidrofílicas, incapaces de atravesar directamente la membrana plasmática. Por el contrario, los mediadores químicos hidrofóbicos difunden a través de la membrana y se unen a receptores intracelulares.

Las señales químicas que transportan información entre las células de un organismo pueden clasificarse en los siguientes tipos:

1) **Mediadores químicos locales**. Actúan sobre células del ambiente inmediato, distintas a las células secretoras, esta forma de comunicación se llama **señalización paracrina**. Las células pueden liberar moléculas señal que actúan sobre otras células próximas del mismo tipo, y evidentemente, sobre ellas mismas. En este último caso se habla de **señalización autocrina**.

2) **Hormonas**. Moléculas señal secretadas al torrente sanguíneo, por el cual son transportadas hasta las células blanco.

3) **Neurotransmisores**. Son mediadores químicos liberados en las uniones especializadas que forman las células nerviosas con las células diana. Esta forma de comunicación se denomina sinapsis química.

La clasificación de los mediadores químicos en estas tres categorías tiene que ver con el espacio al que son liberados. No está relacionada ni con el tipo de células que los liberan ni con la naturaleza química de la molécula señal. Es más, una misma molécula puede actuar de diferentes maneras en distintas situaciones. Para ejemplificar lo enunciado podemos mencionar los siguientes casos:

- algunas neuronas del hipotálamo liberan mediadores al torrente sanguíneo, que a pesar de ser liberados por células nerviosas, son considerados hormonas;
- la insulina, hormona producida y liberada a la circulación sanguínea por células del páncreas, tiene también una acción paracrina sobre otras células del páncreas;
- los neurotransmisores liberados en las sinapsis tienen, en muchos casos, efectos autocrinos sobre las terminaciones nerviosas que los liberan.

Todos estos mediadores químicos son los mensajeros de los sistemas de integración y control del organismo humano, los sistemas nervioso, endocrino e inmunitario.

Bibliografía

Alberts, B., Bray, D., Hopkin, K., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. & Walter, P. (2011). *Introducción a la biología celular*. México: Panamericana.

Curtis, H., Barnes, N.S., Schnek, A. & Massarini, A. (2022). *Biología en contexto social*. Buenos Aires: Médica Panamericana.

Rosenzweig, M, Leiman, A., & Breedlove, S. (2001). *Psicología biológica*. Barcelona: Ariel.

Sharon, N., Lis, H. (1993). Carbohidratos en el reconocimiento celular. *Investigación y Ciencia*, 198, 20-27.

Solomon, E., Berg, L., & Martin, D. (2013). *Biología*. México: Cengage Learning.

Transmisión en el sistema nervioso: señales eléctricas y neurotransmisores

Eduardo Audisio

El sistema nervioso humano recibe, transmite e integra información del exterior y del interior del organismo, genera respuestas, regula las actividades corporales contribuyendo al mantenimiento de la homeostasis, experimenta modificaciones estructurales y funcionales almacenando información que puede recuperarse. Funciona en forma coordinada con los sistemas endocrino e inmunitario, manteniendo la organización corporal e interactuando con el ambiente.

El sistema nervioso constituye una unidad indivisible

Es importante destacar que el sistema nervioso es una unidad indivisible, con una intrincada red de interconexiones entre las neuronas que lo componen. Para su estudio se lo divide según dos criterios principales: anatómico y funcional.

De acuerdo con un criterio anatómico (figura 1) podemos distinguir:

- **sistema nervioso central (SNC)**: comprende el encéfalo y la médula espinal;
- **sistema nervioso periférico (SNP)**: constituido por el conjunto de nervios que entran o salen del SNC y por los ganglios.

Aunque anatómicamente están separados, el SNC y el SNP están interconectados funcionalmente. A su vez, el SNC está rodeado por estructuras óseas que lo protegen: el encéfalo por el cráneo y la médula por la columna vertebral.

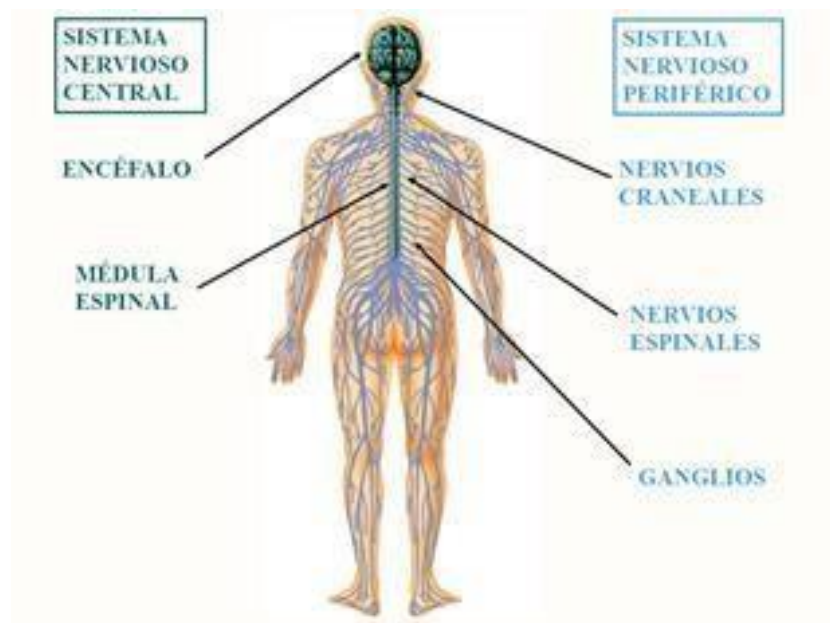


Figura 1. Divisiones del sistema nervioso según un criterio anatómico.

Fuente: <https://x.com/SaludvirtualLuz/status/964295214235086848> (Recuperada el 02/06/2024).

De acuerdo con un criterio funcional podemos distinguir en el sistema nervioso las siguientes divisiones:

- **sistema nervioso somático** (SNS, se denomina también **sistema nervioso de la vida de relación o voluntario**): se encarga de controlar a los músculos estriados, los músculos esqueléticos que pueden moverse voluntariamente;

- **sistema nervioso autónomo** (SNA, se denomina también **sistema nervioso visceral, vegetativo o involuntario**): participa en la regulación del funcionamiento del corazón, los vasos sanguíneos, los pulmones, el estómago, los intestinos, las glándulas y otros órganos internos.

Por su parte, para estudiar al SNA se establecen dos subdivisiones: **simpático** y **parasimpático**. En general, el sistema simpático y el parasimpático se consideran antagonistas fisiológicos. Si un sistema inhibe una función determinada, generalmente el otro la incrementa. Casi todos los órganos están inervados por ambas divisiones del SNA, y el nivel de actividad, en cualquier momento dado, representa la integración de influencias de ambos componentes.

El sistema simpático, asociado a la médula de la glándula suprarrenal, actúa en situaciones de estrés, circunstancias en que las estructuras inervadas por dicho sistema se afectan al mismo tiempo. La frecuencia de los latidos cardíacos se acelera, la presión arterial aumenta, en los músculos esqueléticos se incrementa la irrigación sanguínea, los vasos sanguíneos de la piel sufren constricción, la concentración de glucosa en la sangre aumenta, en conjunto, el organismo se halla mejor preparado para "luchar o huir". Muchos de estos efectos derivan o están reforzados por la adrenalina y la noradrenalina liberadas por la médula suprarrenal.

El sistema parasimpático se ocupa principalmente de las funciones de conservación de la energía y mantenimiento de la función orgánica durante períodos de actividad mínima. Disminuye la frecuencia de los latidos cardíacos y la presión arterial, estimula los movimientos y secreciones gastrointestinales, participa en la absorción de nutrientes y vacía la vejiga y el recto.

La unidad funcional del sistema nervioso humano es la neurona

El sistema nervioso humano está constituido por aproximadamente diez millones de neuronas. Las neuronas son un tipo de células muy diferenciadas y con escaso poder de regeneración, que han perdido la capacidad de dividirse por mitosis. Típicamente se pueden distinguir tres porciones principales en una neurona: el cuerpo o soma celular, las dendritas y el axón (Figura 2).

El cuerpo celular es donde se sintetizan los componentes celulares, alberga el núcleo, los ribosomas, el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi y las otras organelas. Las dendritas son un conjunto de prolongaciones celulares tubulares, ramificadas, que se extienden como antenas a partir del soma celular y proporcionan una mayor área superficial para la recepción de los estímulos. El axón es una prolongación celular, generalmente única y más larga que las dendritas (su longitud varía desde una fracción de milímetro hasta más de un metro), que conduce el impulso nervioso desde el soma celular hasta su extremo distal. Este extremo se divide en numerosas ramas que distribuyen las señales simultáneamente a muchos destinos. En el citoplasma de la terminal axónica se encuentran vesículas que contienen neurotransmisores (mensajeros químicos liberados por las neuronas para comunicarse con otras células) y gran número de mitocondrias (que aportan energía y precursores de los neurotransmisores). En el citoplasma del axón, en toda su longitud, se encuentran microtúbulos (pequeños túbulos proteicos componentes del citoesqueleto celular), que intervienen en el traslado de las vesículas desde el cuerpo celular hasta el extremo axónico.

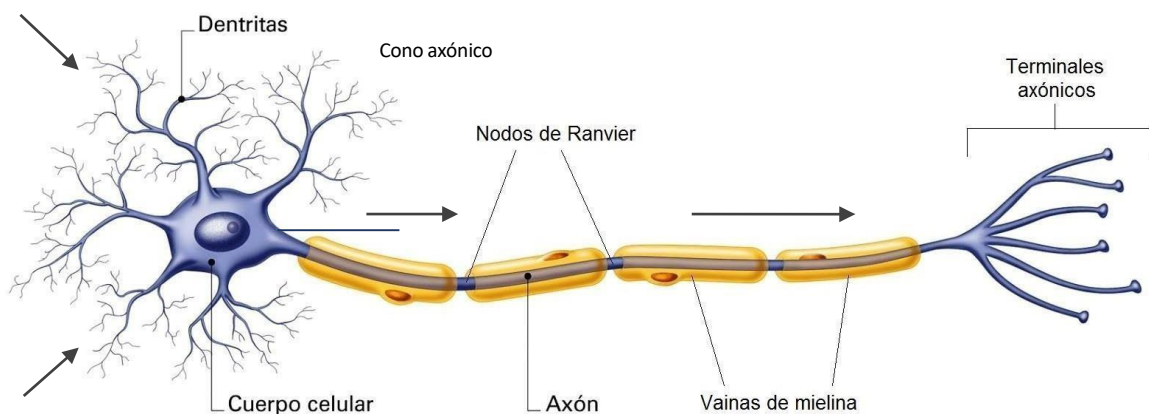


Figura 2. Esquema de una neurona típica de vertebrado. Las flechas indican la dirección en que son transportadas las señales. Fuente: <https://dolopedia.com/articulo/la-neurona> (Recuperada el 02/06/2024). [Imagen modificada.](#)

En el SNC los cuerpos neuronales se encuentran dispuestos en capas formando una corteza, por ejemplo, la corteza cerebral; o constituyen conjuntos funcionalmente relacionados, y en ese caso se denominan núcleos, por ejemplo, el hipotálamo está constituido por varios núcleos. Por su parte, al conjunto de axones que conducen impulsos nerviosos se los llama tractos. Por otro lado, en el SNP, los ganglios son agregados de cuerpos celulares de neuronas; y los nervios están constituidos por axones que viajan juntos.

Las células nerviosas pueden clasificarse según el sentido en que transmiten las

señales, en **neuronas aferentes** o **eferentes**. Las neuronas aferentes son las que, a través de las dendritas, reciben los estímulos y transmiten los impulsos nerviosos, mediante su axón, al SNC. Las neuronas eferentes transmiten información desde el SNC hacia los músculos, glándulas y órganos del sistema inmunitario. En el SNC la gran mayoría de las células pertenecen a un tercer tipo y son denominadas **interneuronas**, reciben sus entradas de información de células nerviosas y envían sus impulsos también a otras neuronas. Las interacciones forman una compleja red que procesa la información.

El tejido nervioso está formado por neuronas y células gliales

El tejido nervioso no consta únicamente de neuronas, sino que siempre presenta células de sostén o **células gliales**. En algunas zonas del encéfalo, el número de las células gliales es superior al de neuronas, en una proporción aproximada de diez a uno. Y las mismas ocupan prácticamente todo el espacio que no ocupan las neuronas o los vasos sanguíneos. Las células gliales del SNC pueden ser agrupadas en cuatro clases principales: **astrocitos**, **oligodendrocitos**, **células ependimarias** y **células microgliales**. Los astrocitos proporcionan un sostén mecánico y metabólico a los delicados y complejos circuitos neuronales; sintetizan y degradan compuestos neuronalmente importantes y ayudan a controlar la composición iónica de los líquidos que rodean a las células nerviosas. Los oligodendrocitos forman con sus membranas celulares las vainas aislantes de mielina (material de naturaleza lipoproteica) alrededor de los axones neuronales del SNC. Las células ependimarias revisten las cavidades internas del SNC, y las células microgliales son un tipo especializado de macrófago, encargados de la función de defensa en el sistema nervioso.

En el SNP se encuentran las **células de Schwann**, que se disponen a lo largo de los axones, envolviéndolos con sus membranas, y constituyendo de este modo la vaina de mielina.

El tejido nervioso se diferencia química y metabólicamente de otros tejidos

El tejido nervioso es relativamente pobre en glúcidos, sus células son incapaces de almacenar glucógeno. La glucosa, el único material energético prácticamente utilizado por la célula cerebral y compuesto precursor en la síntesis de sus biomoléculas, tiene la capacidad de atravesar la barrera hematoencefálica (barrera que deben atravesar las sustancias nutritivas para llegar desde la sangre al SNC y está formada por el epitelio de los capilares sanguíneos, por una capa de tejido conjuntivo y por células gliales pericapilares).

El tejido nervioso utiliza cantidades particularmente elevadas de glucosa, su consumo

representa más del doble del correspondiente al músculo y las dos terceras partes de la glucosa total consumida por el organismo en reposo se verifica a nivel cerebral.

Al mismo tiempo, el tejido nervioso consume una gran cantidad de oxígeno para asegurar la oxidación de la glucosa para obtener energía, la sangre pierde veinte veces más oxígeno al atravesar el cerebro que en el músculo en reposo. El consumo de oxígeno de las diferentes regiones cerebrales muestra importantes variaciones, siendolas áreas sensoriales particularmente exigentes.

El tejido nervioso está compuesto en un 50% de su peso seco por lípidos, siendo este porcentaje el más elevado del organismo. Los lípidos cerebrales no juegan un rol de reserva energética, sino que participan en la edificación de las estructuras cerebrales. Por lo tanto, no se encuentran prácticamente triglicéridos, lípidos de reserva característicos, muy abundantes en otros tejidos. Los lípidos cerebrales más importantes son: fosfolípidos, glucolípidos y colesterol. Los lípidos, junto a las proteínas, componen las vainas de mielina que envuelven los axones de algunas neuronas, y actúan como material aislante que aceleran la conducción del impulso nervioso.

Las proteínas del tejido nervioso representan el 40% del peso seco del cerebro. Los aminoácidos se encuentran en el tejido nervioso formando las proteínas y como aminoácidos libres. Este tejido tiene una concentración ocho veces superior de aminoácidos libres que el plasma sanguíneo. Algunos de estos se comportan como neurotransmisores en el SNC, entre los más importantes se encuentran el ácido gama-aminobutílico (GABA), glutámico, aspártico y serina. Además, existen numerosos péptidos que pueden funcionar como neurotransmisores en el SNC.

Las neuronas reciben estímulos, los integran y pueden conducir impulsos nerviosos, para luego comunicarse con otras células

La membrana de la neurona en reposo

La diferencia en la cantidad de carga eléctrica entre una región de carga positiva y otra de carga negativa se llama potencial eléctrico. Este potencial se mide en voltios, o, si es muy pequeño, en milivoltios (mV). En condiciones de reposo, cuando la neurona no recibe estímulos, el lado interno de la membrana de una neurona está cargado negativamente y el lado externo con carga positiva. La diferencia de potencial que se establece entre ambos lados de la membrana celular es de -70 mV y este es el **potencial de reposo**. El signo negativo se debe que el lado externo se toma como valor 0 y se mide la diferencia con respecto al interior

El potencial de reposo de la membrana puede explicarse mediante la distribución de

iones (partículas cargadas eléctricamente) a ambos lados de la membrana, y la permeabilidad de la membrana a estas partículas cargadas. Los iones intervinientes son: sodio (carga positiva, símbolo Na^+), potasio (carga positiva, símbolo K^+), cloruro (carga negativa, símbolo Cl^-) y grandes iones proteicos (carga negativa). La distribución es la siguiente:

- interior de la célula: grandes iones proteicos (solo se encuentran en el interior) y K^+ que está varias veces más concentrado adentro que afuera de la célula.
- exterior de la célula: Na^+ y Cl^- en mayor concentración en el espacio extracelular que en el interior.

Por su gran tamaño molecular los iones proteicos no pasan por la membrana. En condiciones de reposo, los iones de Na^+ , Cl^- y K^+ pueden pasar a través de canales proteicos específicos para cada tipo de ión, que se encuentran en la membrana de la neurona, pero lo hacen con diferente permeabilidad. Estos canales permanecen abiertos normalmente y su función primaria radica en el mantenimiento del potencial de la membrana en reposo.

El transporte pasivo de los iones a través de los canales mencionados, es impulsado por el **gradiente químico o de concentración** y, como son partículas con carga eléctrica, por el **gradiente eléctrico**, que sumados constituyen el **gradiente electroquímico**. El gradiente de concentración de la sustancia transportada a través de la membrana está dado por la diferencia de concentración de dicha sustancia entre ambos lados de la membrana (extracelular e intracelular). Las sustancias se desplazan de una zona de concentración elevada a otra de baja concentración. El gradiente eléctrico está dado por la carga del ión y por la distribución de cargas a ambos lados de la membrana. Los iones con carga positiva (cationes) se mueven hacia la zona con carga negativa, en tanto, los iones con carga negativa (aniones) se orientan hacia aquella de carga positiva.

Los iones K^+ pasan con cierta facilidad a través de la membrana en reposo (por canales para K^+ abiertos), y son impulsados al exterior por el gradiente de concentración y al interior por el gradiente eléctrico. La suma de las magnitudes de ambos gradientes opuestos determina que los iones K^+ tiendan a salir hacia afuera de la célula, y se acumulen cargas positivas en lado externo de la membrana.

Los iones Na^+ son impulsados a entrar a la célula por el gradiente de concentración y por el gradiente eléctrico (las cargas negativas atraen a estos iones que tienen carga positiva), pero como la membrana es poco permeable a los mismos (por tener pocos canales abiertos), sólo pasan algunos iones Na^+ . Este pasaje se opone a la polarización producida por la salida de K^+ .

La membrana tiene menor permeabilidad para los iones Cl^- que para los K^+ , es decir,

tiene menos canales abiertos específicos para el Cl^- . Estos iones son impulsados a entrar a la célula por el gradiente de concentración, pero el gradiente eléctrico se opone a dicho pasaje (las cargas negativas del lado interior de la membrana repelen a los iones Cl^-). El resultado de la suma de las magnitudes de estos dos gradientes contrapuestos determina que, en la condición de reposo, exista una ligera tendencia a la entrada de Cl^- y una contribución a la polarización.

El resultado de los movimientos de estos iones (con la principal contribución del K^+) provoca la acumulación de cargas positivas en el exterior, y consecuentemente, el interior queda cargado negativamente, generando el potencial de membrana en reposo.

Las neuronas son células excitables

Todas las células presentan un potencial de membrana con motivo de la existencia de gradientes de concentración iónica y de diferencias en la permeabilidad de la membrana con respecto a estos iones. Pero en el caso de las neuronas este potencial de membrana puede ser modificado generándose señales eléctricas que son la base de su funcionamiento. Es decir, las neuronas son células excitables porque pueden modificar su potencial de membrana. Otras células excitables son las musculares.

Recepción de estímulos

En el sistema nervioso, una neurona puede recibir señales de miles de otras neuronas. La recepción de las mismas se realiza, principalmente, en la membrana de las dendritas y del cuerpo celular. Algunos de estos estímulos tienden a excitar a la neurona y otros a inhibirla. Los fenómenos relacionados con la excitación y la inhibición, y con la posterior conducción de señales, son de naturaleza eléctrica y consisten en la modificación del potencial de la membrana. Participan canales proteicos que se abren o cierran, permitiendo o no el pasaje de los iones. Estos canales se diferencian de los mencionados anteriormente, que permanecen siempre abiertos y determinan el potencial de reposo. Los canales que actúan como compuertas que se abren y cierran se encuentran regulados para definir su situación. Existen dos formas principales de regulación, a saber: a) canales regulados por ligando, por ejemplo, por un neurotransmisor que al unirse al canal provoca su apertura; b) canales regulados por voltaje, canales que se abren o cierran ante modificaciones del potencial de la membrana donde se encuentran.

Los **estímulos excitatorios** se deben a neurotransmisores (ver sinapsis química más adelante) que provocan la apertura de canales de Na^+ . La membrana es ahora más permeable al Na^+ y este ión ingresa impulsado por el gradiente electroquímico. El

ingreso de cargas positivas provoca una disminución, en valor absoluto, del potencial de la membrana receptora, por ejemplo, de -70 mV a -65 mV. Ahora es menos negativo en el lado interior con respecto al exterior positivo, que en la situación de reposo. La membrana se ha despolarizado en el lugar donde se ha recibido el estímulo, se ha generado un **potencial local excitatorio**.

En los **estímulos inhibitorios** intervienen neurotransmisores que provocan la apertura de canales de Cl^- . La concentración de Cl^- es mucho mayor fuera que dentro de la célula. Por ésta razón, la apertura de los canales provoca el ingreso de Cl^- a la célula por gradiente de concentración y el lado interior de la membrana se vuelve más negativo que en el estado de reposo. La membrana se ha hiperpolarizado y se ha producido un **potencial local inhibitorio**. La hiperpolarización implica un aumento, en valor absoluto, del potencial de la membrana receptora, por ejemplo de -70 mV a -75 mV. Otras acciones sinápticas inhibitorias son mediadas por canales que permiten el paso de ión potasio.

Los potenciales locales descritos se producen en la membrana de las dendritas y del cuerpo celular de una neurona, y son provocados por otras neuronas que la estimulan por sinapsis química. En el caso de las neuronas sensoriales los potenciales locales son provocados por los estímulos sensoriales, a saber: luz para la visión, ondas de presión del aire para la audición, componentes químicos para el gusto y el olfato, estímulos mecánicos para el tacto. Además de la estimulación del mundo externo, también recibimos información del interior del cuerpo. En definitiva, distintas formas de energía (luminosa, mecánica, térmica, química) del estímulo se convierten en una despolarización local de la membrana de la neurona sensorial.

Suma de los potenciales locales

Todos los potenciales locales (excitatorios e inhibitorios) provocados en la membrana de las dendritas y del soma celular se expanden. Entonces, los potenciales locales inhibitorios se oponen al avance de los excitatorios, es decir, la hiperpolarización de ciertas regiones contrarresta la despolarización de otras. Cuando la despolarización es mayor que la hiperpolarización, y la magnitud de la diferencia es suficiente para que dicha despolarización llegue al **cono axónico** (inicio del axón), decimos que se ha alcanzado el **umbral de excitación**. En valores de potencial eléctrico, el umbral de excitación es de unos -55 mV. En esta situación, la membrana del cono axónico se ha despolarizado y, por lo tanto, provoca el inicio de la conducción a lo largo del axón de un **impulso nervioso** o **potencial de acción**.

Cuando los potenciales locales excitatorios superan a los inhibitorios, pero no se alcanza el umbral de excitación, o cuando los potenciales local inhibitorios son

mayores que los excitatorios, la neurona no transmite impulso alguno.

Potencial de acción o impulso nervioso

El viaje de la señal eléctrica a lo largo del axón se denomina potencial de acción o impulso nervioso. Comienza en el nacimiento del axón (cono axónico) y se desplaza hasta el extremo terminal.

La conducción del impulso nervioso está relacionada con canales para iones que se encuentran en la membrana del axón. El cierre o la apertura de los mismos son regulados por el potencial de la membrana (canales regulados por voltaje). Dentro de estos canales se encuentran dos que resultan principales para explicar el mecanismo de conducción. Son canales específicos, uno para el ión de sodio (Na^+) y otro para el de potasio (K^+). Ambos están cerrados en reposo y se abren por la despolarización de la membrana.

Cuando se alcanza el umbral de excitación la despolarización llega al cono axónico. En respuesta a la despolarización se abren, en primer término, los canales regulados por voltaje para el Na^+ que se encuentran en la membrana del cono axónico. En consecuencia, el ión sodio ingresa a la célula y provoca la despolarización de la membrana del cono axónico. Esta despolarización, a su vez, determina que se abran nuevos canales para sodio regulados por voltaje que se encuentran próximos en el axón, provocando finalmente la apertura en cadena de todos estos canales a lo largo de la membrana del axón. Este cambio que se propaga se denomina **potencial de acción** o **impulso nervioso**, y consiste en una **despolarización**. En esta situación el potencial de membrana alcanza un valor de +30 o +40 mV, es decir que la polaridad se invierte (el lado interior de la membrana queda con carga positiva y el exterior negativa).

La membrana del axón recupera rápidamente su impermeabilidad al ión de sodio (se cierran los canales para sodio) y aumenta la permeabilidad al ión de potasio (se abren los canales de potasio), que sale de la célula. La salida de potasio (ión con carga positiva) compensa la entrada anterior de sodio (también con carga positiva). De este modo se restaura la polaridad inicial de la membrana del axón, volviendo al potencial de reposo. La **repolarización** de la membrana del axón permite que este pueda volver a transmitir otro impulso nervioso. En la repolarización la membrana vuelve al potencial de reposo (-70 mV), luego de pasarse levemente a valores de -75 mV. En la figura 3 se representa el cambio de potencial de membrana desde el inicio de un potencial de acción hasta la repolarización.

El potencial de acción es una **respuesta de todo o nada**, se produce o no se produce. Si la suma de los potenciales locales alcanza el umbral de excitación, se dispara el

potencial de acción, si no alcanza dicho umbral no se dispara. La magnitud del potencial de acción no tiene ninguna relación con la intensidad de los estímulos que lo provocan. Por lo tanto, si la intensidad de la estimulación excitatoria que recibe una neurona aumenta, no se produce un potencial de acción más intenso; ante un aumento de los estímulos excitatorios, una neurona aumentará la frecuencia de disparo de sus potenciales de acción. El aumento de disparos tiene un límite, determinado por el **período refractario**. Se trata de un breve período de tiempo (unos pocos milisegundos) después de la iniciación de un potencial de acción, durante el cual no se puede provocar otro potencial de acción (en ese breve período la membrana es refractaria a la conducción de otro potencial de acción).

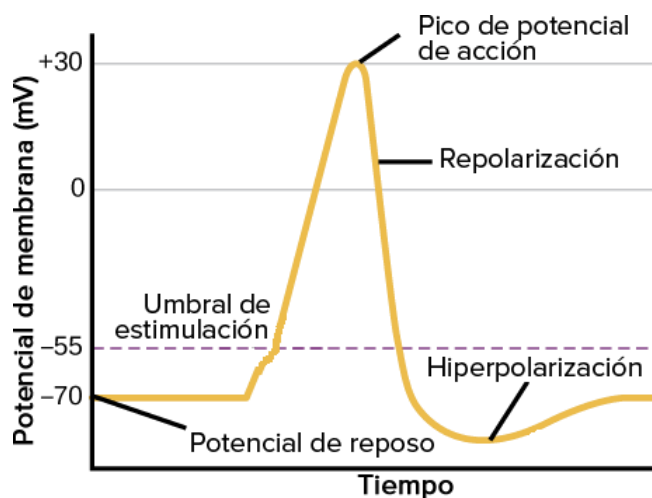


Figura 3. Representación gráfica del potencial de acción o impulso nervioso.

Fuente: <https://es.khanacademy.org/science/biology/human-biology/neuron-nervous-system/a/depolarization-hyperpolarization-and-action-potentials> (Recuperada el 02/06/2024).

El mantenimiento de los gradientes

La permanente entrada de Na^+ y la posterior salida de K^+ tenderían a disipar los respectivos gradientes de concentración. El mantenimiento de los mismos se explica por un mecanismo de transporte activo que moviliza iones Na^+ al exterior e iones K^+ al interior, con consumo de energía. La **bomba de Na^+/K^+** , una proteína formada por subunidades que se encuentra presente en la membrana celular, es la responsable de este transporte de los iones en contra de los gradientes. Por cada tres iones de Na^+ expulsados, ingresan dos iones K^+ , de tal forma que la bomba de Na^+/K^+ contribuye a la generación del potencial de membrana (salen tres cargas positivas y entran dos negativas, el resultado es el egreso de una carga positiva). Esto hace más positivo el exterior y, por tanto, más negativo el interior, por esto, decimos que la bomba de Na^+/K^+ es electrogénica. De todos modos, la contribución de la bomba al potencial de membrana es muy pequeña (un par de mV), su principal acción es el mantenimiento de los gradientes.

Las vainas de mielina aceleran la conducción

Los axones de muchas neuronas de vertebrados se hallan aislados por una vaina de mielina (figura 2), la que incrementa la velocidad a la que el axón conduce un potencial de acción.

La mielina está formada por las **células de Schwann** en los nervios periféricos y por **oligodendrocitos** en el SNC. Estas células depositan, una sobre otra, capas de su propia membrana plasmática formando un espiral alrededor del axón. La vaina de mielina está interrumpida por pequeñas depresiones llamadas **nodos de Ranvier**, donde se encuentran los canales regulados por voltaje. La despolarización en un nodo se transmite al siguiente, en un proceso denominado **conducción saltatoria**.

La conducción saltatoria tiene dos consecuencias. Primero, aumenta la velocidad de conducción del impulso nervioso, ya que no se abren canales iónicos en las porciones del axón cubiertas por mielina, solamente ocurre la apertura de canales en los nodos de Ranvier. Segundo, se requiere menos energía para el mantenimiento de los gradientes iónicos, ya que durante la conducción del potencial de acción se transportan iones solamente en los nodos de Ranvier, y como resultado se transportarán menos iones por medio de la bomba de Na^+/K^+ .

Las neuronas se comunican con otras células a nivel de la sinapsis

El axón en su extremo terminal se divide en finas ramas, cada una de estas ramas transmitirá la señal a otra célula por sinapsis. De tal forma, una neurona transmite la señal a muchas otras células, las ramas de un solo axón pueden establecer sinapsis con otras 1000 neuronas.

La unión sináptica es una unión intercelular especializada a través de la cual las señales son transmitidas de una neurona a otra célula. A la membrana de la célula que está transmitiendo la señal se le denomina presináptica, y postsináptica a la de la célula que recibe el impulso.

Las sinapsis pueden ser eléctricas o químicas. Con respecto a las **sinapsis eléctricas** podemos enunciar las siguientes características:

- a. la distancia entre las membranas pre y postsináptica es de 3,5 nm;
- b. existe continuidad entre los citoplasmas de las células pre y postsinápticas;
- c. la comunicación se produce por el pasaje de iones a través de canales proteicos que comunican a los citoplasmas de ambas células (uniones comunicantes);

- d. la transmisión es habitualmente bidireccional (en ambos sentidos);
- e. la sinapsis eléctrica ha sido descrita en invertebrados inferiores y en algunas conexiones del encéfalo en mamíferos.

Con referencia a las **sinapsis químicas** podemos decir:

- a. la distancia entre las membranas pre y postsináptica es mayor que en las sinapsis eléctricas, de 20 a 40 nm;
- b. no existe continuidad entre los citoplasmas de ambas células;
- c. la comunicación se produce por la liberación de un mediador químico al espacio sináptico;
- d. la transmisión es unidireccional (siempre de la presináptica a la postsináptica);
- e. la sinapsis química es la más común en el tejido nervioso de los mamíferos.

En la sinapsis química (figura 4), cuando un potencial de acción llega a las terminaciones del axón, se inicia una serie de fenómenos que permiten la transmisión de la señal. Estos fenómenos son los siguientes:

1. Liberación del neurotransmisor. La alteración de la polaridad de la membrana de la terminación axónica desencadena el proceso de liberación del neurotransmisor al espacio sináptico. Cuando llega el potencial de acción se produce un aumento de la entrada de Ca^{++} a la célula (apertura de los canales de Ca^{++} regulados por voltaje), y este catión promueve la fusión de las vesículas que contienen los neurotransmisores con la membrana presináptica. Luego, por el proceso denominado **exocitosis**, el contenido vesicular es liberado al espacio sináptico.

2. Interacción del neurotransmisor con receptores postsinápticos. El transmisor liberado al espacio sináptico interactúa con un receptor específico de naturaleza proteica, ubicado en la membrana postsináptica. Los receptores pueden ser: a) **receptores ionotrópicos**: asociados a canales iónicos que se abren al unirse con el neurotransmisor y permiten el transporte de un ión (por ejemplo, canales permeables al Na^+); b) **receptores metabotrópicos**: acoplados a proteínas de membrana (enzimas) que generan un segundo mensajero en la célula postsináptica (por ejemplo, AMPcíclico).

En muchos casos, en la membrana presináptica están localizados receptores que interactúan con el neurotransmisor liberado por la misma terminal de la neurona, a los

mismos se los denomina **autorreceptores**. Su función se relaciona con el control de la posterior liberación del neurotransmisor, ejerciendo un efecto de retroalimentación negativa, es decir, frena la liberación del neurotransmisor cuando su concentración en el espacio sináptico es alta.

3. Iniciación de la actividad postsináptica. Si el receptor es un canal para Na^+ , al unirse el neurotransmisor se abre el canal y el catión entra a la célula, despolarizando la membrana de la célula postsináptica, y provocando un potencial local excitatorio. Esta es una **sinapsis excitatoria**.

En cambio, si el canal es para Cl^- , el aumento de permeabilidad del anión determina la entrada del mismo a la célula y la siguiente hiperpolarización de la membrana, ocurriendo un potencial local inhibitorio. La membrana hiperpolarizada es muy difícil de excitar por otro estímulo, se dice que es una **sinapsis inhibitoria**.

Por su parte, si el estímulo del neurotransmisor determina la síntesis de un segundo mensajero, este puede producir cambios en diversos niveles de la actividad celular. En algunos casos, se puede producir la activación de numerosas proteínas que determinan esos cambios. Por ejemplo, puede resultar en la modificación de un tipo de receptor ya presente en la célula, y que en consecuencia se modifique la sensibilidad de la célula al mensajero químico que actúa sobre ese receptor. En otros casos, puede activarse la maquinaria génica, al llegar la información al núcleo de la célula, ocurre la modificación de la expresión de algunos genes, produciéndose determinadas proteínas. Entonces puede ocurrir que: aumente el número de sinapsis, se inserten nuevos receptores en la membrana, crezca el número de ramificaciones dendríticas y se establezcan nuevas sinapsis.

Los cambios descritos en el último párrafo implican modificaciones de los circuitos neuronales. Es decir, la activación de circuitos constituidos por determinadas neuronas produce modificaciones en las conexiones sinápticas entre estas células. Esta posibilidad de que se modifiquen las comunicaciones entre las neuronas, se refuercen o se debiliten, es una propiedad del sistema nervioso conocida como **plasticidad neuronal**. Esta posibilidad de cambios neuronales está relacionada con la memoria y el aprendizaje.

4. Destrucción o disipación del neurotransmisor. Luego que la señal ha sido transmitida el neurotransmisor debe ser retirado del espacio sináptico para que no siga estimulando a la membrana postsináptica. Existen tres procesos que intervienen en este fenómeno: a) destrucción del neurotransmisor por enzimas presentes en el espacio sináptico; b) difusión del neurotransmisor hacia el espacio

intercelular del tejido; y c) recaptación del transmisor por la terminación nerviosa axónica (el neurotransmisor recaptado vuelve a acumularse en vesículas).

Los astrocitos cumplen un rol importante en la captación de los neurotransmisores liberados en las sinapsis, y resultan verdaderos moduladores de la transmisión de la señal nerviosa.

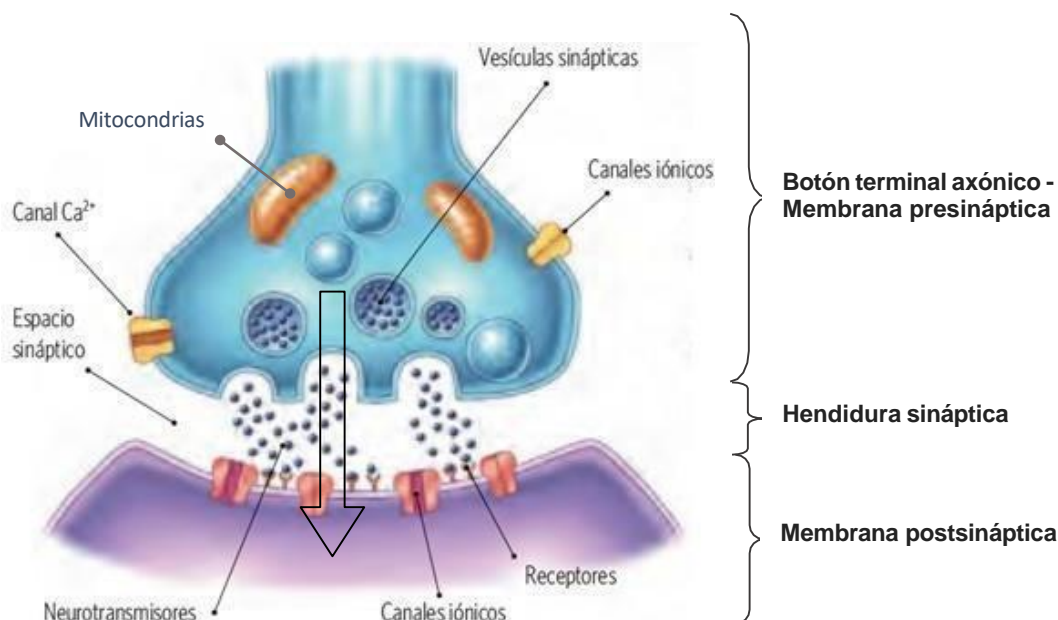


Figura 4. Esquema de una sinapsis típica. La flecha indica la dirección de transmisión.

Fuente: <https://tuguideaprendizaje.co/taller-sinapsis-de-las-neuronas/> (Recuperada el 02/06/2024).
[Imagen modificada.](#)

Los principales neurotransmisores

Existen muchas sustancias que actúan como transmisores en el sistema nervioso, permitiendo una diversidad de señales entre las neuronas. Los neurotransmisores se clasifican en dos grupos según el tamaño molecular. Por un lado, los neurotransmisores de molécula pequeña que comprenden a: 1) acetilcolina; 2) aminas (dopamina, serotonina, noradrenalina, adrenalina, histamina); 3) aminoácidos (glutamato, GABA, glicina); y 4) otras moléculas (óxido nítrico). Por otro lado, se encuentran moléculas transmisoras de mayor tamaño, los neuropéptidos, que son péptidos compuestos por cadenas de 3 a 36 aminoácidos.

La acetilcolina es el neurotransmisor en las uniones neuromusculares esqueléticas y en las sinapsis del nervio vago con el músculo cardíaco. Además, es un importante mediador químico del SNC.

Los aminoácidos son neurotransmisores en el SNC. El glutamato es un transmisor excitatorio, y el ácido gamma-aminobutírico (GABA) y el aminoácido glicina participan en las sinapsis inhibitorias.

Las aminas actúan en las comunicaciones del SNC y del SNP. Sus acciones están relacionadas con el mantenimiento de la homeostasis y con funciones cognitivas como la atención y las emociones.

Los neuropéptidos son transmisores en el SNC y sus acciones se relacionan con la percepción del dolor, con la modulación de las emociones y con respuestas complejas al estrés.

La importancia de los conocimientos neurobioquímicos

Los conocimientos neurobioquímicos son útiles para la comprensión de los mecanismos involucrados en algunos trastornos neurológicos y/o psiquiátricos. También lo son para interpretar el modo de acción de los fármacos y para orientar la elaboración de nuevos medicamentos.

Casi todos los efectos de los psicofármacos son producidos por la acción de los mismos sobre los fenómenos de transmisión de información del sistema nervioso, en especial en los procesos sinápticos. Estos mecanismos pueden ser, entre otros, el bloqueo o la facilitación de la liberación de neurotransmisores, bloqueo de los receptores, reducción del número de receptores, inhibición de la enzima que inactiva al neurotransmisor o inhibición de la recaptación.

Bibliografía:

- Alberts, B. et al. (2011). *Introducción de Biología Molecular*. México: Médica Panamericana.
- Curtis, H., Barnes, N.S., Schnek, A. & Massarini, A. (2022). *Biología en contexto social*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Guyton & Hall (2011). *Tratado de Fisiología Médica*. Barcelona: Elsevier.
- Kandel, E., Schwartz, J., & Jessell, T. (1997). *Neurociencia y conducta*. Madrid: Prentice Hall.
- Purves, D. et al. (2008). *Neurociencia*. Madrid: Panamericana.
- Kolb, B., & Whishaw, I. (2017). *Neuropsicología humana*. Buenos Aires: Médica Panamericana.
- Rosenzweig, M, Leiman, A., & Breedlove, S. (2001). *Psicología biológica*. Barcelona: Ariel.
- Solomon, E., Berg, L., & Martin, D. (2013). *Biología*. México: Cengage Learning.

Plasticidad neuronal

Pablo Martino

1. Conceptos introductorios

La plasticidad neuronal (también denominada neuroplasticidad) es una temática esencial para quienes se inician en el estudio del sistema nervioso, y se define como la capacidad de las neuronas y de sus conexiones de sufrir cambios adaptativos, es decir cambios funcionales.

Según las distintas circunstancias que la impulsan o motorizan, podemos clasificar la plasticidad neuronal en:

- a) plasticidad asociada al neurodesarrollo
- b) plasticidad asociada al aprendizaje
- c) plasticidad post-lesional

La plasticidad asociada al neurodesarrollo hace alusión a los cambios neuronales y sinápticos necesarios para la organización y maduración del sistema nervioso, y abarca desde el período prenatal hasta la adolescencia. En segundo lugar, *la plasticidad asociada al aprendizaje* se refiere a las modificaciones que sufren las neuronas y las sinapsis en función de cada nuevo aprendizaje, vivencia o experiencia. Por esto mismo se la conoce también como plasticidad dependiente de la experiencia. En tercer lugar, *la plasticidad post-lesional* es la respuesta adaptativa a una lesión en el cerebro u en otras estructuras del sistema nervioso. A pesar de estar protegido por estructuras óseas y meninges, el sistema nervioso no está exento de lesiones, y puede ser afectado, por ejemplo, a causa de un accidente cerebrovascular (ACV), de un traumatismo o de una infección. Consumado el daño y en respuesta a la lesión se activan distintos procesos nerviosos que se estima, ayudarían a contrarrestar las eventuales consecuencias negativas de la lesión.

Los emblemáticos experimentos de Kandel

Uno de los precursores en el estudio de la plasticidad fue Eric Kandel, médico y científico austríaco. Durante la década de 1960 efectuó una serie de experimentos en un animal denominado *Aplysia*. Kandel descubrió que el aprendizaje no solo modifica el comportamiento, sino también la fuerza de las sinapsis. Por ejemplo, el aprendizaje por habituación induce un debilitamiento de las sinapsis, mientras que, por el contrario, otra forma de aprendizaje llamada sensibilización fortalece y potencia las conexiones neuronales. En reconocimiento a estos revolucionarios hallazgos en el año 2000 Kandel recibió el Premio Nobel de Fisiología y Medicina.



Figura 1. Eric Kandel sujetando su famoso modelo animal aplysia. Fuente: <https://sciencestudies.gc.cuny.edu/events/an-evening-with-neuroscientist-eric-kandel/> Recuperado el 20 de julio de 2024

La plasticidad neuronal: una propiedad del sistema nervioso a lo largo de la vida

En el siglo pasado el paradigma científico dominante sostenía que el cerebro humano se completaba durante la adolescencia, alcanzado hacia esta etapa vital un número definitivo de neuronas, conexiones fijas no modificables, y presentando en adelante escasa o nula posibilidad de reorganización. Sin embargo, a partir del descubrimiento de plasticidad neuronal en el sistema nervioso adulto, aquella noción previa comenzó a ser interpelada, y cobró fuerza la concepción actual por la cual el sistema nervioso, y en particular el cerebro humano, puede sufrir modificaciones adaptativas durante toda la vida. Este giro en el conocimiento es un buen ejemplo de cómo evoluciona el saber científico, asumiendo que toda premisa es circunstancial, temporal, y que dejará de sostenerse cuando se demuestre lo contrario. Destaca así una característica esencial de la práctica científica, y es su espíritu crítico y antidogmático.

2. Mecanismos de plasticidad neuronal

2.1. Mecanismos asociados al neurodesarrollo

Neurogénesis

Es el proceso de formación de nuevas neuronas. Las células madre neurales que son células no diferenciadas, pero con potencial para producir los tipos celulares específicos del tejido nervioso, proliferan, es decir, se dividen por mitosis y dan origen a nuevas células denominadas precursoras o progenitoras neuronales. Estas células precursoras se desplazan a su posición final (migración celular) y expresan genes que convertirán dicha célula en una nueva neurona funcional (diferenciación celular).

Durante el desarrollo prenatal el cerebro se empieza a poblar de neuronas. En el pico máximo de neurogénesis, se llegan a producir hasta 250 mil neuronas por minuto.

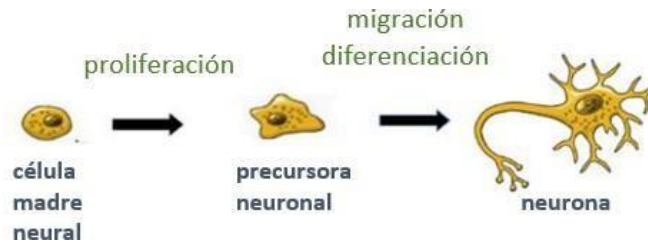


Figura 2. Neurogénesis. Fuente: <https://www.ib.edu.ar/images/stories/Cerebro/neurogenesis.pdf>. Recuperado el 23 de julio de 2024

Sinaptogénesis

Es la formación de conexiones sinápticas a medida que crecen las dendritas y los axones. Si bien la sinaptogénesis inicia en la vida prenatal, tiene su pico en el período posnatal inmediato. Por ejemplo, la corteza visual humana registra la mayor densidad sináptica alrededor del primer año de vida.

Apoptosis neuronal

Es la muerte neuronal programada o selectiva. Por más extraño que parezca, este es un evento normal del neurodesarrollo, especialmente en la etapa embrionaria. Gran cantidad de neuronas del encéfalo y de la médula espinal mueren tempranamente, variando entre el 20 y 80% según la región. Se conjetura que este peculiar mecanismo ayudaría a limitar el número total de neuronas, evitando cantidades excesivas.

Mielinización

Proceso de formación de vainas de mielina alrededor de los axones neuronales. Recordemos que las vainas de mielina aceleran la conducción del impulso nervioso. La mielinización es posible gracias a la intervención de algunas células gliales. La mielinización inicia en la vida prenatal (ej. nervios craneales y espinales), aunque la fase más intensa de este proceso coincide con los primeros años posteriores al parto.

Poda sináptica

En los primeros años de vida se generan muchas sinapsis, más de las necesarias. La poda sináptica es la eliminación de esas conexiones sinápticas en exceso, y a diferencia de la apoptosis, las neuronas no mueren, sino que los axones se retraen. Se ha propuesto que las sinapsis eliminadas serían las menos utilizadas o demandas. La poda inicia durante los primeros años posteriores al parto y alcanza su punto culmine en la adolescencia.

2.2. Mecanismos asociados al aprendizaje

Profundizaremos en uno de los mecanismos más investigados, la **potenciación a largo plazo** (en adelante PLP).

Introducción a la PLP

A fines de 1960 el británico neurofisiólogo Timothy Bliss y el noruego Terje Lomo - por aquel entonces estudiante de psicología- identificaron la PLP tras la estimulación eléctrica de neuronas del cerebro de conejos. La PLP es la intensificación de la transmisión sináptica en respuesta a un estímulo frecuente y capaz de conservarse en el tiempo a pesar de que el estímulo ha cesado.

Localización de la PLP

La PLP ha sido identificada en sinapsis del hipocampo, aunque más tarde también en otras estructuras del encéfalo como la corteza cerebral, la amígdala y el cerebelo.



Figura 3. Hipocampo. Fuente: <https://www.ademto.org/articulos/deterioro-cognitivo-esclerosis-multiple-2/>. Recuperado el 25 de julio de 2024

Descripción del proceso de PLP

a. Liberación de glutamato y su unión con AMPA y NMDA

La PLP ocurre en sinapsis cuyo neurotransmisor es el glutamato (sinapsis glutamatérgicas). Dos de los receptores postsinápticos del glutamato son AMPA y NMDA, ambos ionotrópicos (unidos a un canal iónico). Al ser liberado por la neurona presináptica el glutamato se une a sus receptores AMPA y NMDA. Como consecuencia de la unión entre glutamato y AMPA, se abre el canal que permite el ingreso de Na^+ . Por otro lado, a pesar de la unión del glutamato con NMDA, el canal asociado a este receptor permanece cerrado, debido a que se encuentra bloqueado por el ion Mg^{2+} .

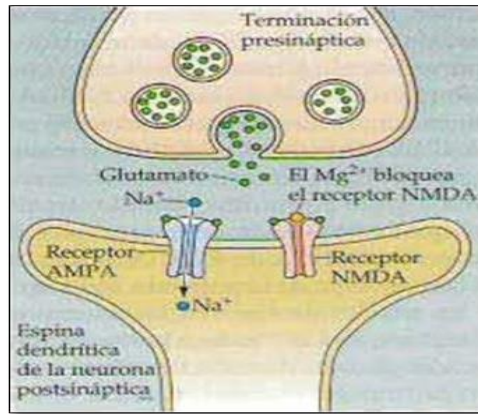


Figura 4. Liberación de glutamato y su unión con AMPA y NMDA (Purves, 2008, p. 653)

b. Despolarización de la membrana postsináptica y desbloqueo del receptor NMDA

A los efectos de que el canal del receptor NMDA se desbloquee, se requiere estimulación de alta frecuencia que active reiteradamente los receptores AMPA y conduzca a una despolarización prolongada de la membrana postsináptica. Si la despolarización continúa hasta menos de -35 mV (recordemos que el potencial de reposo era -70), solo así el canal del receptor NMDA es desbloqueado, permitiendo el ingreso de Na^+ y de Ca^{2+} . Decimos por lo tanto que el canal del receptor NMDA es un canal controlado por ligando (glutamato), pero también por voltaje (despolarización).

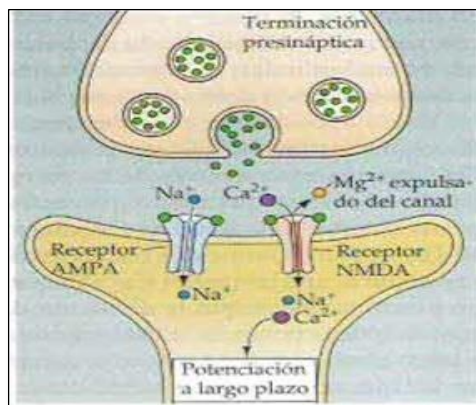


Figura 5. Despolarización de la membrana postsináptica y desbloqueo del receptor NMDA (Purves, 2008, p. 653)

c. Primeros cambios sinápticos

La entrada de Ca^{2+} en la neurona postsináptica desencadena una cascada de señales intracelulares. Activa proteínas quinasas como la calmodulina quinasa II (CaMKII) y las MAP quinasas. Las quinasas son enzimas que catalizan la *fosforilación*. Se entiende por fosforilación a la adición de grupos fosfato a moléculas proteicas, y ello cambia las propiedades de muchas de estas moléculas. Así las quinasas ponen en marcha mecanismos intracelulares como la fosforilación de los receptores de glutamato (proteínas ya presentes en la neurona postsináptica).

Entre los cambios sinápticos más importantes resultado del ingreso de Ca^{2+} :

-Inserción de nuevos receptores AMPA en la membrana de la dendrita postsináptica.

-Mayor sensibilidad de los receptores AMPA al glutamato.

-Aumento de la liberación de glutamato desde el botón terminal de la neurona presináptica (Esto ocurriría por una señal retrógrada, ya que la dendrita de la neurona postsináptica libera un mensajero -el óxido nítrico- que estimula la liberación de glutamato en la neurona presináptica. No se conoce muy bien de qué modo se gesta este proceso. Se cree que el Ca^{2+} , o bien un segundo mensajero inducido por el calcio, sería el responsable de estimular la liberación de óxido nítrico desde las espinas dendríticas postsinápticas).

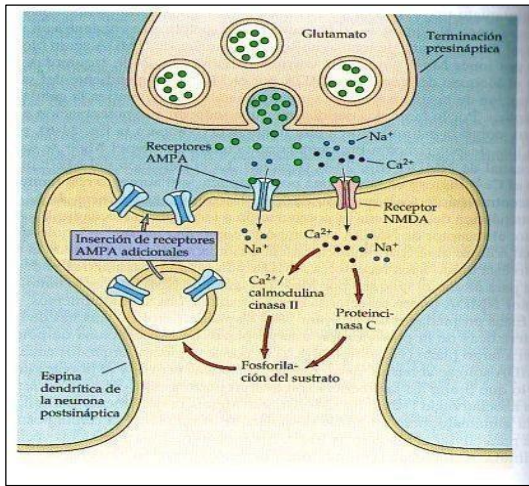


Figura 6. Inserción de receptores AMPA en la membrana postsináptica (Purves, 2008, p. 654)

d. Cambios tardíos en la sinapsis

Posteriormente las quinastas ponen en marcha otro mecanismo intracelular, la fosforilación de factores de transcripción (CREB), estimulando la expresión de genes que sintetizan nuevas proteínas. La **síntesis de proteínas** acarrea sustanciales cambios en la sinapsis, por ejemplo, el **crecimiento de nuevas espinas dendríticas** (ver figura 7).

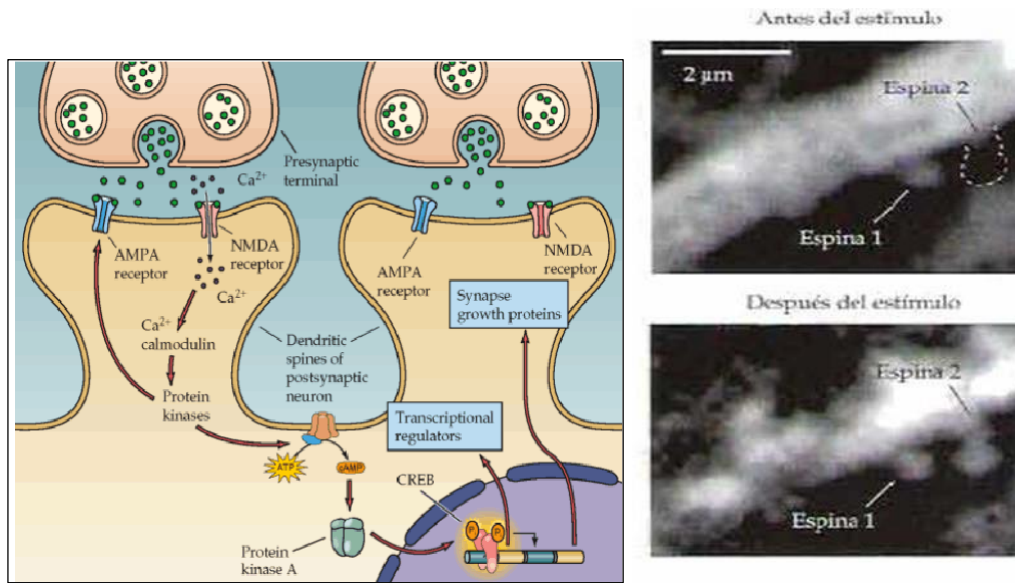


Figura 7. Crecimiento de nuevas espinas dendríticas (imagen de la izquierda de Ortega-Loubon & Franco, 2010, p. 6; imagen de la derecha de Purves, 2008, p. 655)

PLP, memoria y aprendizaje

La PLP representa uno de los principales procesos biológicos subyacentes a la consolidación de memorias y aprendizajes. Esto se sustenta en tres argumentos. En primer lugar, porque la PLP genera modificaciones sinápticas duraderas, estables en el tiempo. Otro motivo obedece a la presencia de PLP en el hipocampo, una de las áreas cerebrales involucradas en la formación de memorias. En tercer lugar, investigaciones experimentales con modelos animales apoyan la correlación entre la PLP y el aprendizaje. Por ejemplo, la administración de una sustancia antagonista del receptor NMDA, sin que perturbe la transmisión del receptor AMPA, provoca dificultades de aprendizaje. Otras experiencias científicas demuestran que al alterar un gen en ratones (ratones *knockout*) e impedir la síntesis de una enzima necesaria para la PLP, el aprendizaje resulta afectado.

2.3. Mecanismos post-lesionales

Regeneración axonal

Proceso de reparación de axones dañados. Son proteínas las responsables de la reparación. Por el momento ha sido identificado únicamente en el sistema nervioso periférico (nervio óptico y nervios espinales).

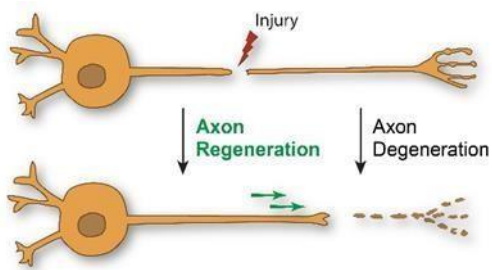


Figura 8. Regeneración axonal
 Fuente:
https://biology.ucsd.edu/about/news/article_012518.html
 Recuperado de 25 de julio 2024

Colateralización

Es el crecimiento de axones colaterales desde un axón sano. Cuando el axón de una neurona dañada degenera, los axones adyacentes a la lesión responden mediante axones colaterales que hacen una nueva sinapsis con la neurona blanco.

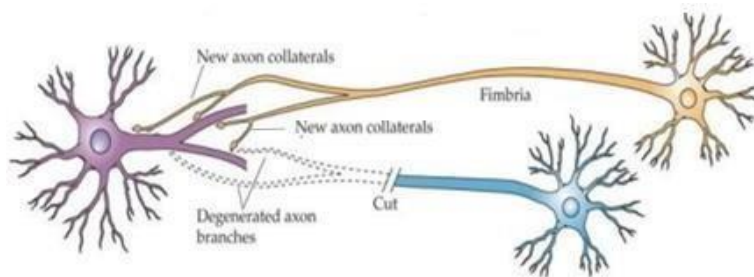


Figura 9. Colateralización
 (Watson & Breedlove, 2012)

Desenmascaramiento sináptico

Son conexiones sinápticas que en estado normal se encuentran inhibidas y se activan en respuesta al daño cerebral.

Neurogénesis reactiva

Es la neurogénesis en respuesta al daño cerebral.

3. Neurogénesis adulta

3.1 Generalidades

Hasta muy avanzado el siglo XX se afirmó que la neurogénesis ocurría solo en etapas tempranas de la vida. A la luz de investigaciones posteriores esa premisa cayó en descrédito y comenzó a tomar fuerza la posición vigente que reconoce la existencia de neurogénesis también durante la vida adulta.

Revisemos a continuación cuatro estudios que aportaron al descubrimiento de la neurogénesis adulta:

Joseph Altman y Gopal Das. Primeras evidencias

En la década de 1960, Altman y Das hallaron por primera vez neurogénesis en el hipocampo de ratas adultas.

Fernando Nottebohm y estudios en aves

En la década de 1980, Fernando Nottebohm (argentino) puso de manifiesto la presencia de neurogénesis en aves adultas (carboneros) en las estructuras cerebrales implicadas en el aprendizaje del canto, y no solo eso, sino que la neurogénesis se incrementaba en las estaciones del año en las que los pájaros adultos aprendían el canto.

Estudios en primates

Los trabajos previamente indicados, a pesar de sus valiosos resultados, quedaron un tiempo a la sombra, siendo considerados excepciones al dogma (“el cerebro adulto no produce nuevas neuronas”). El interés por la neurogénesis adulta renació a raíz de investigaciones efectuadas a fines de la década de 1990. Elisabeth Gould halló neurogénesis en el hipocampo de mamíferos superiores, el mono Rhesus.

Primeras evidencias en seres humanos

Luego del reconocimiento de la neurogénesis en primates adultos, restaba probar esto mismo en seres humanos. La principal dificultad era metodológica y ética, ya que no era posible transferir los métodos de investigación utilizados en animales a seres humanos. Hasta que, en 1998, Peter Eriksson, un investigador sueco dio con una solución. Accedió a un grupo de pacientes adultos que formaba parte de un ensayo clínico, en el cual se les administraba un marcador (BrdU) para controlar el crecimiento de tumores. Ese marcador puede expresarse únicamente en células que se han formado recientemente. Eriksson pensó que si lograba una muestra del hipocampo de ese grupo de personas podría constatar si había neuronas con dicho marcador como señal de reciente formación. Eriksson obtuvo el consentimiento para analizar el cerebro postmortem de algunos de estos adultos y pudo así comprobar la presencia de nuevas neuronas.

Es conveniente aclarar que, si bien hay neurogénesis en la adultez, su frecuencia es significativamente menor en comparación a la neurogénesis embrionaria.

3.2 Áreas de neurogénesis adulta

Hay dos áreas claves de formación de neuronas en el cerebro de mamíferos adultos: la **zona subventricular** (alrededor de los ventrículos cerebrales laterales) y la **zona subgranular del giro dentado del hipocampo**. Ambas zonas cuentan con células madre con potencial neurogénico.

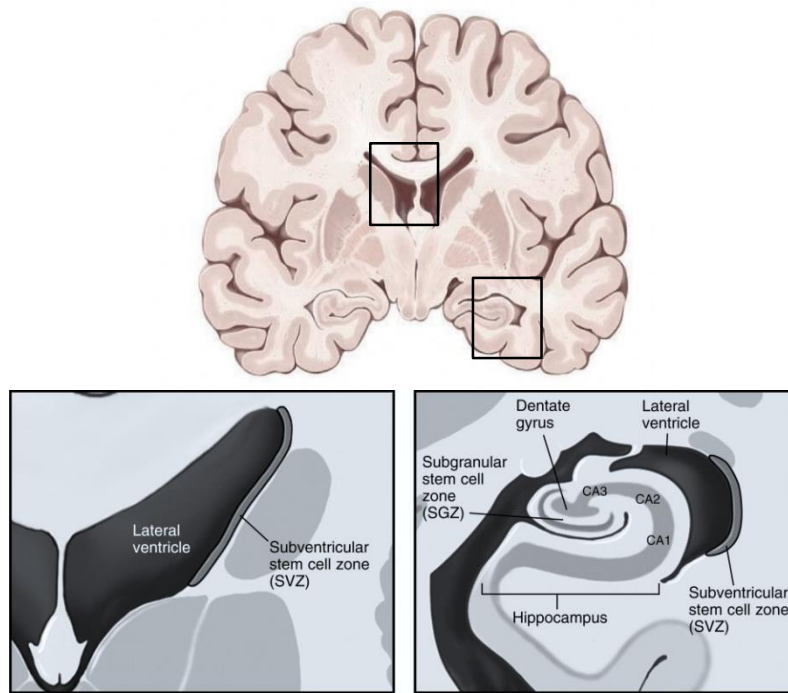


Figura 10. Áreas de neurogénesis adulta en un corte coronal del cerebro (Barani et al., 2007, p. 979)

3.3 Factores moduladores de la neurogénesis adulta en el hipocampo

Son factores que favorecen o inhiben la neurogénesis. Influyen en distintos momentos del proceso como en la proliferación de las células madre, diferenciación, o en la supervivencia de las nuevas neuronas.

Favorecen:

Estimulación cognitiva: a partir de la experimentación animal se infiere en seres humanos que la realización de actividades mentalmente estimulantes favorecería la neurogénesis. Por ejemplo, el hábito de la lectura, la escritura, el aprendizaje de un idioma o iniciar un curso de alguna asignatura pendiente.

Ejercicio físico: también fruto de la experimentación animal se asume que en seres humanos la actividad física promovería la neurogénesis al mejorar la supervivencia de las nuevas neuronas.

Inhiben:

Estrés crónico: la respuesta de estrés crónico genera un aumento sostenido de la hormona cortisol. A niveles elevados el cortisol tiene efectos neurotóxicos como por ejemplo la inhibición de la neurogénesis.

Otros factores inhibidores: abuso de algunas sustancias y aislamiento.

3.4 Función de la neurogénesis adulta

Al parecer, es un proceso necesario para la formación de nuevas memorias y aprendizajes, y también como respuesta adaptativa a las lesiones del tejido nervioso (neurogénesis reactiva).

4. La plasticidad neuronal como un puente entre la neurociencia y el psicoanálisis

Habremos oído más de una vez que la neurociencia y el psicoanálisis son discursos que poco tienen en común, antagónicos, de improbable diálogo, destinados al desencuentro. La neurociencia advierte que el psicoanálisis carece de un andamiaje científico riguroso, y el psicoanálisis, por su parte, carga sobre la neurociencia catalogándola de mecanicista y reduccionista, y que en su pretensión de alcanzar una explicación científica de la conducta humana infravalora la subjetividad y la historia de vida. Efectivamente para algunos académicos la tarea de relacionar uno y otro campo es inviable. Sin embargo, esto no es así para otros, es el caso de **Françoise Ansermet** (psicoanalista) y **Pierre Magistretti** (neurocientífico) quienes en 2006 publicaron "**A cada cual su cerebro: plasticidad neuronal e inconsciente**", un potente libro que vislumbra zonas de intersección entre uno y otro campo.

Ansermet y Magistretti entienden que la *plasticidad neuronal*, concepto proveniente de la neurociencia, ofrece una oportunidad inmejorable para tender un puente con el psicoanálisis. Siguiendo el razonamiento de los autores, la plasticidad neuronal enseña que las experiencias vitales (palabras, imágenes, aromas, vivencias, afectos, adversidades) modifican el sistema nervioso de forma constante e incesante. Y al mismo tiempo que las experiencias se inscriben en el psiquismo como una **huella mnémica** (término utilizado por Freud en su primera tópica), también lo hacen en la red neuronal como una **huella sináptica**. De esta manera la plasticidad nos demuestra que la neurociencia no difiere sustancialmente del discurso del psicoanálisis. Para ambos discursos **la experiencia deja marcas, según el psicoanálisis el destinatario de esas marcas es el psiquismo, mientras que, en el terreno de la neurociencia, el objeto de esas marcas será el cerebro**. En definitiva,

tanto el psiquismo como el sistema nervioso establecen una trayectoria única, singular e imprevisible.

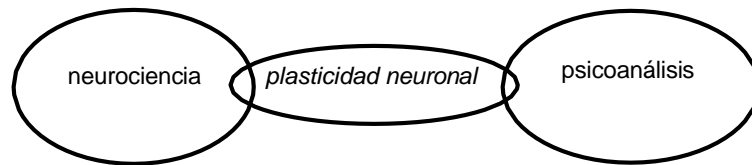


Figura 11. La plasticidad como puente
(propia elaboración)

Bibliografía

- Ansermet, F. & Magistretti, P. (2006). *A cada cual su cerebro*. Katz Editores.
- Barani, I. J., Cuttino, L. W., Benedict, S. H., Todor, D., Bump, E. A., Wu, Y., Chung, T. D., Broaddus, W. C., & Lin, P. S. (2007). Neural stem cell-preserving external-beam radiotherapy of central nervous system malignancies. *Intern Journ of Radiat Oncol, Biology, Physics*, 68(4), 978–985.
- Bayona-Prieto, J., Bayona, E. & León-Sarmiento, F. (2011). Neuroplasticidad, neuromodulación y neurorehabilitación. *Revista Científica Salud Uninorte*, 27, 1.
- Curtis, H., Barnes, N., Schnek, A. & Massarini A. (2022). *Biología (en contexto social)*. 8ta edición. Editorial Médica Panamericana.
- Galetto, V. & Sacco, K. (2017). Neurorehabilitation and Neuroplastic Changes Induced by Cognitive Rehabilitation in Traumatic Brain Injury: A Review. *Neurorehab and Neural Repair*, 31, 9, 800-813.
- Garcés-Vieira, M.V. & Suárez-Escudero, J.C. (2014). Neuroplasticidad: aspectos bioquímicos y neurofisiológicos. *CES Medicina*, 28(1), 119-132.
- Kolb, B., & Whishaw, I. (2017). *Neuropsicología humana*. Médica Panamericana.
- Martínez-Morga, M. & Martínez, S. (2016). Desarrollo y plasticidad del cerebro. *Rev Neurol*, 62 (Supl 1): S3-8.
- Ortega-Loubon, C. & Franco, J.C. (2010). Neurofisiología del aprendizaje y la memoria. Plasticidad neuronal. *Archivos de medicina*, 6, 1.
- Marzola, P., Melzer, T., Pavesi, E., Gil-Mohapel, J., & Brocardo, P. S. (2023). Exploring the Role of Neuroplasticity in Development, Aging, and Neurodegeneration. *Brain sciences*, 13(12), 1610.
- Mateos-Aparicio, P., & Rodríguez-Moreno, A. (2019). *The Impact of Studying Brain Plasticity*. *Frontiers in cellular neuroscience*, 13, 66.
- Ramírez-Rodríguez, G., Benitez-King, G. & Kempermann, G. (2007). Formación de nuevas neuronas en el hipocampo adulto. *Salut Ment*, 30, 3, 12-19.

- Rosenzweig, M. & Watson, N. (2013). *Biological Psychology*. Sinauer Associates, Inc.: Sunderland, MA.
- Purves, D. (2008). *Neurociencia*. Editorial Médica Panamericana.
- Purves, D. (2015). *Neurociencia*. Editorial Médica Panamericana.
- Ribeiro, F., & Xapelli, S. (2021). An Overview of Adult Neurogenesis. *Adv in Exp Med Biology*, 1331, 77–94.
- Turolla, A., Veneri, A., Farina, D., Cagnin, A. y Cheung, V. (2018). Rehabilitation Induced Neural Plasticity after Acquired Brain Injury. *Neural Plast.*, 2018: 6565418
- Von Bernhardi, R. et al. (2017). What Is Neural Plasticity? *Adv in Exp Med Biology*, 1015, 1–15.
- Watson, N.V. & Breedlove, S.M. (2012). *The Mind 's Machine: Foundations of Brain and Behavior*. Sinauer Associates, Inc.
- Zheng, W., Zhu, Q. Zhong, M., Chen, G., Shao, B., Wang, H., Mao, X., Xie, L. y Jin, K. (2013). Neurogenesis in adult human brain after traumatic brain injury, *Neurotrama*, 30(22): 1872-1880.

Las distintas subdivisiones del sistema nervioso

Romina Scaglia

Todo sistema o aparato está conformado por estructuras pertenecientes a niveles de organización inferiores. De tal manera, el sistema nervioso está conformado por **células** (neuronas y células gliales de diferente tipo) que conforman el **tejido** nervioso (un tejido blando aislado de la sangre, por lo que su coloración es blanca o grisácea, según las zonas). Este tipo de tejido es el que conforma los **órganos**, como por ejemplo, el cerebro, la médula espinal, el cerebelo, el tálamo, el hipotálamo, entre otros. Dichos órganos, al funcionar de manera coordinada e integrada conforman el **sistema** nervioso, que está diseñado para cumplir con funciones sumamente específicas que consisten en la recepción de estímulos provenientes del exterior y del interior del cuerpo (a través de *vías sensoriales o sensitivas*), su análisis y procesamiento en zonas especializadas (*zonas de asociación*), y la emisión de respuestas motrices, emocionales, racionales y lingüísticas, entre otras (a través de *vías motoras*).

Si bien el sistema nervioso (SN) es uno sólo para cada individuo (ver Figura 1), se lo subdivide para su estudio.

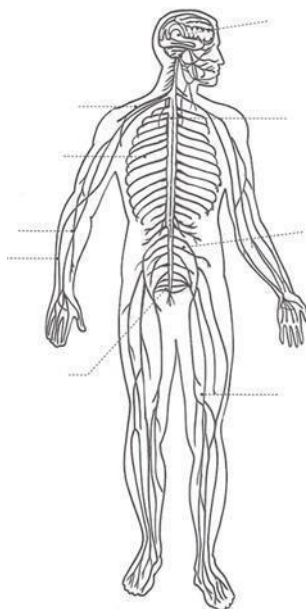


Figura 1. Representación estimativa de la localización anatómica y la superficie corporal cubierta por el sistema nervioso. Fuente: <https://ar.pinterest.com/pin/30mar2015-esquema-del-sistema-nervioso-sin-los-nombres-de-sus-partes-para-completar--290974825941529881/> (Recuperada el 05/05/25).

Los principales criterios de división o clasificación son de dos tipos:

A) Anatómico: según este criterio se subdivide al sistema nervioso en dos grupos anatómicos principales: sistema nervioso *central* (SNC) y sistema nervioso *periférico*

(SNP). Cada uno de estos grupos está localizado en regiones anatómicas precisas y tienen un origen específico a lo largo del desarrollo embrionario.

B) Funcional: según este criterio el SN se divide, según su modo de funcionamiento en *somático* y *autónomo*. Cada uno de ellos posee vías sensitivas o sensoriales (encargadas de recibir estímulos) y vías motoras (encargadas de emitir respuestas). Sin embargo, estas vías funcionan de modo diferente según el grado de control más o menos conciente o voluntario que pueda ejercer el individuo sobre ellas.

A) Clasificación Anatómica:

Esta clasificación subdivide al sistema nervioso en dos zonas anatómicas fundamentales: (1) el sistema nervioso **central** y (2) el sistema nervioso **periférico**.

1) El sistema nervioso central (SNC) está protegido, debido a su importancia, por tres estructuras: las membranas de las meninges; los huesos que conforman el cráneo (en nuestra cabeza) y la columna vertebral (palpable en la línea media de la espalda); y por el líquido cefalorraquídeo (LCR), el cual amortigua sus posibles golpes contra estos huesos (ver ficha de cátedra específica). El SNC comprende dos estructuras anatómicas principales, que son **a) el encéfalo** y **b) la médula espinal**. Véase la figura 2 (en la página siguiente) para comprender su localización anatómica en comparación con la figura 1 que representa a todo el SN.

Esta porción central del sistema nervioso es la de mayor importancia funcional en los seres humanos, y sus dos regiones anatómicas principales, contienen varias subdivisiones que veremos a continuación (ver Cuadro 1 en la página siguiente):

a) **El encéfalo**: localizado en la región cefálica (es decir, en nuestra cabeza) y protegido por los huesos del cráneo. El encéfalo, a su vez, se subdivide en zonas anatómicas comprendidas por distintos órganos, que siguiendo un sentido descendente (desde su porción cefálica a su parte caudal) son las siguientes (la fisiología de estos órganos será abordada en fichas de cátedra específicas):

i. Cerebro: a su vez subdividido en:

(i) **Telencéfalo**: parte anatómica de mayor tamaño que desborda sus límites y cae, cubriendo muchas de las estructuras que están por debajo de él, las cuales quedan relegadas a la zona central de nuestro cerebro y sólo son visibles si realizamos un corte del telencéfalo.

(ii) **Diencefalo**: ubicado por encima del Tronco encefálico y en el centro de nuestro encéfalo, recubierto por el telencéfalo.

ii. Tronco o Tallo encefálico: situado por debajo del cerebro y por

encima de la médula espinal, a su vez está subdividido en:

- (i) Mesencéfalo (porción más cercana al cerebro)
 - (ii) Protuberancia Anular o Puente de Varolio (por debajo del mesencéfalo)
 - (iii) Bulbo raquídeo o Médula oblonga (porción ubicada debajo de la anterior y por encima de la médula espinal)
- iii. Cerebelo: situado por debajo del Cerebro y por detrás del Tronco encefálico, es decir, justo arriba de nuestra nuca.

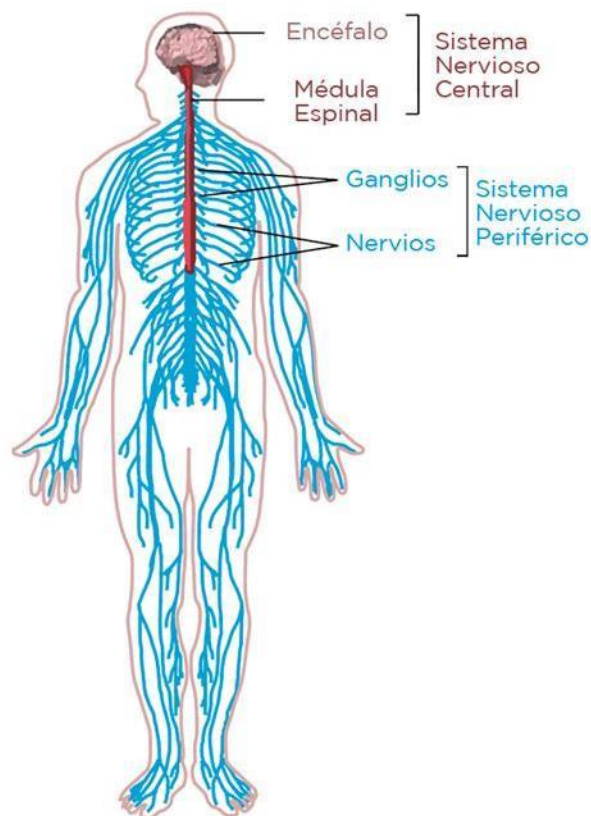


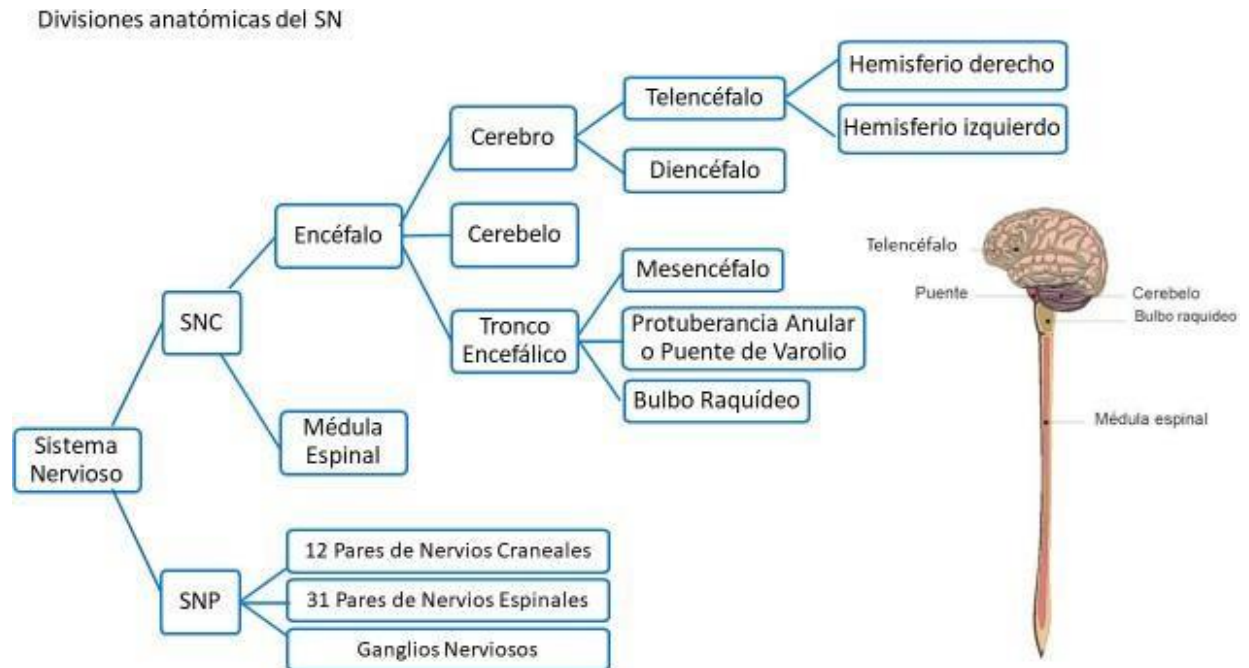
Figura 2. Principales componentes del Sistema Nervioso Central y Periférico (división anatómica). Referencias: el SNC está representado en un color rojizo, mientras que el SNP está representado en un color azulado. Fuente: <https://www.drrubencardenas.com/sistema-nervioso/> (Recuperada el 05/05/25).

b) **La médula espinal:** localizada en el canal vertebral (especie de tubo formado por las vértebras de la columna). Es la región más caudal (más cercana a la cola) de nuestro SN. Está protegida por los huesos que conforman la columna vertebral o espina dorsal (los cuales con palpables para nosotros en la línea media de la espalda). Nuestra médula espinal se subdivide en 5 regiones que de arriba hacia abajo son las siguientes:

- i. Cervical
- ii. Dorsal o Torácica

- iii. Lumbar
- iv. Sacra
- v. Coccígea

Cada una de estas regiones de la médula espinal recibe información y emite respuestas vinculadas a zonas del cuerpo específicas (ver ficha de cátedra correspondiente).



Cuadro 1. Clasificación Anatómica del Sistema Nervioso.

2) Por su parte, el sistema nervioso periférico (SNP) está formado por:

a) **Ganglios** o conjuntos de cuerpos neuronales encargados de recibir estímulos, procesarlos y responder a los mismos, derivando sus respuestas a otra áreas que pueden ser centrales o periféricas. En fichas anteriores hemos visto que los cuerpos neuronales y sus dendritas, reciben estímulos, los procesan y responden (excitatoria o inhibitoriamente) a los mismos.

b) **Nervios** o conjuntos de prolongaciones o ramificaciones axonales que reciben información proveniente de Ganglios nerviosos y la envían a otros ganglios nerviosos o al sistema nervioso central u otros órganos. Según el sentido en el que viaja la información podemos clasificar a estos nervios en:

i) **nervios sensoriales** o **vías aferentes** todas las prolongaciones o ramificaciones nerviosas que *entran al sistema nervioso central* llevando información sensitiva o sensorial desde la periferia y los cinco órganos de los sentidos (olfativo, visual, auditivo, gustativo y táctil), o desde ganglios nerviosos, hacia el encéfalo y/o la médula espinal; y

ii) **nervios motores** o **vías eferentes** todas las prolongaciones nerviosas que *salen del SNC* llevando información motora (ya sea desde el encéfalo o desde la médula espinal) hacia todas las partes de nuestro cuerpo, haciendo secretar a una glándula (sea ésta exócrina o endócrina) o contraer/relajar a un músculo de forma voluntaria (músculos esqueléticos como los necesarios para flexionar la rodilla, retraer la mano o pronunciar una palabra específica) o de forma involuntaria (latidos cardíacos, dilatación o contracción de las pupilas, movimientos del intestino) pasando por todas las fases intermedias, es decir, aquellas que no son ni completamente voluntarias ni completamente involuntarias (por ejemplo, la contracción y relajación de esfínteres, o la exhalación e inhalación pulmonar).

El SNP (ambas vías, sensitivas y motoras) ocupa, de esta manera, toda la superficie corporal anatómica que media entre el SNC y los límites de nuestra piel, pasando por todos nuestros órganos internos.

Estas vías (aférentes y eférentes) que conforman el SNP reciben el nombre de **NERVIOS**. La mayoría de estos nervios suelen ser mixtos, es decir van a estar conformados por una parte **aférente (vía sensitiva)** que lleva información desde la periferia hacia el SNC, y por una porción **eférente (vía motora)** que emite información que sale del SNC para dirigirse a la periferia. Es decir que, en términos generales, cada nervio estará constituido por un par de vías, una vía aférente y una vía eférente.

Estos nervios periféricos se clasifican en dos grupos, según su origen (ver Cuadro 1 en la página anterior):

a) un grupo es el de los nervios craneales, cuyas vías (aférentes y eférentes) entran al SNC y salen del SNC a través de los agujeros dejados por los huesos del cráneo. Tenemos 12 pares de nervios craneales porque por cada nervio craneal, tenemos uno a la izquierda y otro a la derecha de nuestro cuerpo. Algunos de estos nervios craneales son sólo sensitivos (nervio olfatorio, nervio óptico), otros son sólo motores (nervio oculomotor, nervio hipogloso), y otros son mixtos, es decir que poseen tanto vías sensitivas como motoras (nervio trigémino, nervio glossofaríngeo).

b) el otro grupo es el de los nervios espinales, cuyas vías (aférentes y eférentes) entran al SNC y salen del SNC a través de los agujeros dejados entre las vértebras de la espina dorsal o columna vertebral. Tenemos 31 pares de nervios espinales porque (al igual que lo

que ocurre con los nervios craneales) cada nervio espinal tiene una ramificación a la derecha y otra a la izquierda del cuerpo, y cada ramificación (tanto la de la derecha y como la de la izquierda) es doble al tener una vía aferente y otra eferente. Es decir que los nervios espinales son sensitivos y motores (es decir, mixtos).

Si bien la patología del SNP, es decir, la disfuncionalidad de estos pares de nervios, no produce alteraciones psicológicas ni psiquiátricas por sí misma, sino que sólo se limita a generar diferentes grados de analgesias (pérdidas de la sensación) y de parálisis (pérdida de la motilidad en distintos grados) -por lo cual pertenecen al campo de estudio de la neurología (y no al de la psicología)-, dejaremos mencionados los nervios que constituyen cada grupo, sólo para dejarlos registrados por si les fuera necesario consultar o investigar (alguna vez y a cuenta personal) sus funciones para, por ejemplo, realizar un diagnóstico diferencial entre una patología neurológica y una conversión histérica (aunque estas últimas son poco frecuentes en la actualidad), dado que las conversiones "no siguen las reglas de la anatomía" (Freud, 1893/1994), razón por la cual se decía que las histéricas mentían:

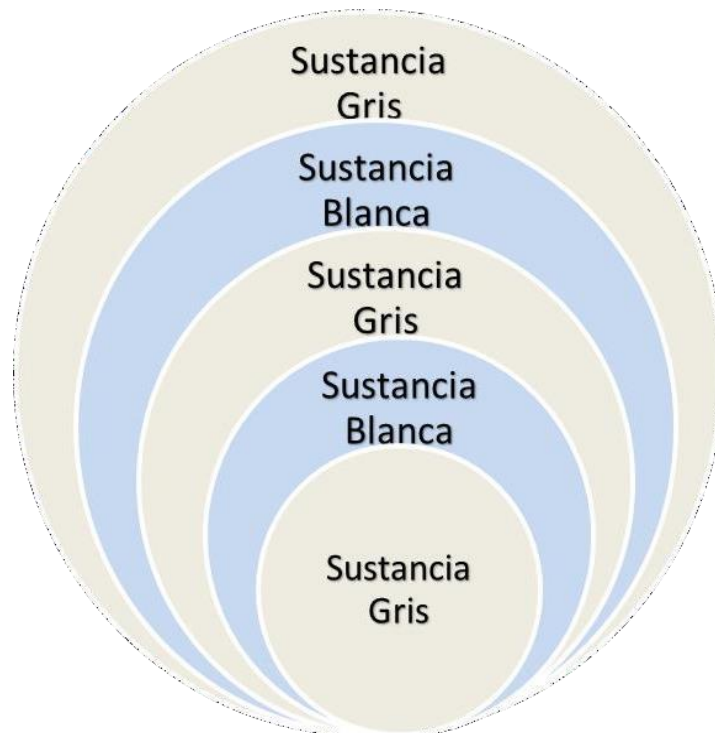
- a) 12 pares de Nervios Craneales:
 - i. Nervio Olfatorio (origen Telencefálico)
 - ii. Nervio Óptico (origen Diencefálico)
 - iii. Nervio Oculomotor (origen Mesencefálico)
 - iv. Nervio Troclear (origen Mesencefálico)
 - v. Nervio Trigémino (origen en Protuberancia anular)
 - vi. Nervio Abducens (origen en Protuberancia anular)
 - vii. Nervio Facial (origen en Protuberancia anular)
 - viii. Nervio Vestibulococlear (origen en Protuberancia anular)
 - ix. Nervio Glossofaríngeo (origen en Bulbo Raquídeo)
 - x. Nervio Vago (origen en Bulbo Raquídeo)
 - xi. Nervio Accesorio (origen en Bulbo Raquídeo)
 - xii. Nervio Hipogloso (origen en Bulbo Raquídeo)
- b) 31 pares de Nervios Espinales:
 - i. 8 pares de Nervios Cervicales (originados en la región cervical de la médula espinal)
 - ii. 12 pares de Nervios Dorsales o Torácicos (originados en la región dorsal o torácica de la médula espinal)
 - iii. 5 pares de Nervios Lumbares (originados en la región lumbar de la médula espinal)
 - iv. 5 pares de Nervios Sacros (originados en la región sacra de la médula espinal)
 - v. 1 par de Nervios Coccígeos (originados en la región coccígea de la médula espinal)

Para culminar con la clasificación anatómica y posteriormente adentrarnos en el criterio clasificatorio funcional, diremos que desde el punto de vista **microscópico**, las vías aferentes y eferentes están constituidas por neuronas, más precisamente, por un "encadenamiento" o sucesión de sinapsis entre neuronas que conducen la información desde sus dendritas hacia el axón y, a través de este, hacia el botón sináptico para transmitirla hacia las dendritas de las neuronas siguientes, las cuales harán sinapsis con otras neuronas, y así sucesivamente. Pero a su vez, no se trata de una sucesión única, sino que cada vía (aferente y eferente) está formada por varios encadenamientos de neuronas en paralelo (tal y como un hilo contiene varias hebras paralelas) Debido a esto, las vías nerviosas (tanto aferentes como eferentes) están formadas por agrupaciones de cuerpos neuronales (dendritas y soma) y por agrupaciones de axones. Anatómicamente, las agrupaciones de cuerpos neuronales reciben el nombre de **núcleos** cuando están localizados dentro del SNC, y se denominan **ganglios** cuando se localizan en el SNP. Por su parte, los grupos de axones neuronales se denominan **tractos** cuando pertenecen al SNC, y **nervios** cuando forman parte del SNP. De este modo, al consultar un libro de anatomía del Sistema nervioso, cuando uno lee, por ejemplo, "*tracto olfatorio*" o "*núcleos de la base*" se ubica directamente dentro del SNC, sin que el autor tenga que especificarlo. Por el contrario, si lee "*nervio vago*" o "*ganglio de Gasser*" se puede dar cuenta que se está aludiendo al mismo tipo de estructuras anatómicas antes mencionadas, pero que estas se encuentran en el SNP.

Asimismo, pero sólo dentro del SNC, los núcleos o conjuntos de cuerpos neuronales y dendritas, junto con axones no mielinizados, conforman la llamada **sustancia gris** de dicha subdivisión anatómica. Mientras que los tractos o conjuntos de axones mielinizados conforman la **sustancia blanca** debido a que al estar revestidos por mielina (sustancia lipídica) poseen un color blancuzco (al igual que la grasa, también lipídica). La sustancia gris, al estar conformada por cuerpos neuronales, dendritas y axones no mielinizados, tiene funciones de recepción, análisis y procesamiento de la información (tal y como sucede a nivel de una sola neurona, en la cual las dendritas y el soma reciben los estímulos y los procesan a través de la sumatoria de potenciales locales). Por su parte, la sustancia blanca (formada por axones mielinizados) conduce las respuestas, es decir, los impulsos nerviosos, y transmite la información hacia otra estructura de sustancia gris, y así sucesivamente. De este modo, filogenéticamente, el sistema nervioso se ha ido conformando por un núcleo de sustancia gris, rodeado por sustancia blanca que, a su vez, es rodeada por una nueva capa de sustancia gris, y ésta por otra capa de sustancia blanca, y así sucesivamente, tal y como se muestra en el Cuadro 2.

Filogenéticamente habría aparecido un núcleo primitivo de sustancia gris que centralizaba las funciones del cuerpo. A medida que las especies fueron complejizándose (debido a que el entorno en el cual vivían también fue haciéndose más complejo y más sobrecargado de estímulos novedosos) este núcleo primitivo de sustancia gris debió ser relevado en sus funciones por otro núcleo superior que lo rodeara (y con el cual debía comunicarse a través de fibras de sustancia blanca) y que permitiera asociar una cantidad de estímulos diversos cada vez mayor y emitir respuestas cada vez más complejas (ya no sólo instintivas, sino también emocionales y, posteriormente, racionales), más precisas y más específicas ante entornos cada vez más cambiantes y complejos.

Es así que, en las sucesivas capas de sustancia gris encontramos, muchas veces, las mismas funciones que en capas inferiores, que parecen estar repetidas, pero lo que sucede es que en las capas grises inferiores y filogenéticamente más primitivas, se realiza un procesamiento muy simple de la información, mientras que a medida que ascendemos por esas capas grises, el análisis y el procesamiento de la misma información será mucho más preciso y más complejo, integrándose también con mayor cantidad de información. Por dar un ejemplo, en la sustancia gris de la médula espinal se realiza un procesamiento mayoritariamente reflejo o *instintivo* de la información táctil (siento un pinchazo en mi dedo e inmediatamente corro el dedo y toda la mano quizás también) pero, a medida que esta información va ascendiendo (si es que lo hace –no siempre ocurre-) por los niveles de sustancia gris, esta información se va integrando con otros estímulos, por ejemplo, a nivel del diencéfalo se integra con estímulos *emocionales*, entonces, ya no sólo corro el brazo sino que siento mucho enojo o tristeza por haberme pinchado, y esto quizás me sume en un duelo, si es que me cercené un dedo o una parte de mi cuerpo. Y si esa información llega hasta el telencéfalo, agrego un procesamiento *racional* a esa información, y entonces pienso y me digo a mi mismo que tengo que aplicarme un desinfectante y voy a buscarla o a comprarla. Por supuesto que para que esto ocurra, la información tiene que llegar a centros superiores, cosa que no necesariamente ocurre, dado que hay situaciones que pueden resolverse de modo mucho más simple. Pero, este burdo ejemplo permite entender que hay distintos niveles (filogenéticamente heredados) de procesamiento de la información que recibimos y de las respuestas que emitimos a través de nuestro sistema nervioso central: un nivel instintivo (filogenéticamente más primitivo), un nivel emocional y un nivel racional alcanzado en último lugar en la cadena evolutiva (Paul MacLean, 1973).



Cuadro 2. Muestra la organización del SNC en diferentes estratos de procesamiento y análisis de la información, que subordinan a los estratos inferiores.

B) Clasificación Funcional

Esta subdivisión obedece al funcionamiento y no es superponible punto por punto con la subdivisión anatómica, sino que ocurre que tanto las partes sensoriales y motoras del SNC como las del SNP pueden clasificarse según su modo de funcionamiento en dos grupos principales 1) sistema nervioso somático; y 2) sistema nervioso autónomo:

1) **SN Somático o Voluntario**: estas vías sensoriales, motoras y de asociación inervan músculos esqueléticos (estriados), captando sus sensaciones y emitiendo respuestas más o menos reguladas conscientemente. Es la porción del SN que nos permite caminar, escribir y hablar, entre otras cosas. Si bien a medida que vamos aprendiendo ciertas funciones las vamos ejecutando de manera cada vez más automática (por ejemplo, al caminar no estamos pensando en cómo flexionar la rodilla, cómo apoyar el pie, si levantamos antes los dedos que el talón, etc. -lo cual nos permite utilizar nuestros recursos atencionales para otras cosas, como ver si no viene ningún auto para cruzar la calle-) en líneas generales, esta división del SN controla funciones que podemos controlar de modo más o menos voluntario o consciente.

2) **SN Autónomo o Vegetativo o Involuntario (SNA)**: es la porción del SN que controla (tanto en aferencias como en eferencias) las glándulas, la musculatura lisa

(que conforma nuestras vísceras¹) y el corazón. Son funciones son más difíciles de controlar conscientemente, por ello también se lo llama SN involuntario. Si bien a través de ciertas técnicas (como el yoga) se puede aprender a controlar voluntariamente la frecuencia respiratoria, comúnmente se trata de funciones que se realizan de modo automático, es decir, sin necesidad de estar pensando conscientemente en ellas para que ocurran. Esta parte del SN tiene la capacidad de seguir funcionando en ocasiones en las que hay muerte cerebral, cuando se dice que la persona ha quedado en estado "vegetativo". Es probable que por esa independencia (relativa) del cerebro, haya recibido la denominación de "autónomo". Sin embargo, su control se centraliza en niveles subcerebrales del encéfalo (Tronco encefálico) y a nivel de la médula espinal, por lo que corresponden a funciones filogenéticamente más primitivas y más instintivas, vinculadas directamente con la supervivencia del organismo: la digestión, la respuesta sexual humana, la activación general del organismo para sortear peligros (respuesta de lucha-huida). A menudo el SNA funciona por medio de reflejos viscerales, es decir, a través de las señales sensoriales que entran en los ganglios autónomos, la médula espinal, el tallo cerebral o el hipotálamo y pueden dar lugar a respuestas reflejas adecuadas que son devueltas a los órganos para controlar su actividad. Reflejos simples terminan en el órgano interesado (actividad segmentaria de la médula espinal) mientras que reflejos más complejos son controlados por centros autonómicos superiores en el SNC (actividad suprasegmentaria), principalmente el hipotálamo (diencéfalo).

La rama vegetativa también se divide en dos subgrupos que tienen funciones opuestas o antagónicas, es decir que mientras una parte contrae cierta víscera, la otra la relaja y viceversa. Por supuesto que no funcionan a la vez, porque si así lo hicieran el órgano en cuestión no "sabría" si tiene que contraerse o relajarse. Por el contrario, cada subdivisión se pone en funcionamiento en situaciones específicas, mientras que la otra subdivisión permanece inhibida, y a su turno, cada una envía información a cada víscera o glándula correspondiente (ver Figura 3). Estas dos subdivisiones del SN Autónomo son:

2a) **Sistema nervioso Simpático:** es la rama autónoma que prepara a nuestro cuerpo para la acción. Es decir, que está implicado en actividades que requieren gasto de energía y que preparan al cuerpo para ejecutar las llamadas respuestas de lucha-huida. Desde el punto de vista psicológico se activa en las denominadas `Situaciones E´ (escape, estrés, ejercicio, emergencia, examen). En

¹ Una **víscera** es un órgano contenido en las principales cavidades esplánicas (tórax, abdomen y pelvis) del cuerpo humano y de los animales. Las vísceras son órganos internos que derivan embriológicamente del mesodermo o del endodermo Ej: pulmones, estómago, intestinos, hígado, ovarios, testículos, riñones, vejiga, etc.

este sentido, a nivel periférico es el que dilata nuestras pupilas aumentando nuestro campo visual; acelera nuestro ritmo cardiorrespiratorio (para poder tomar más oxígeno y que éste llegue a las células a través de la sangre para degradar la glucosa y obtener ATP). Aumenta nuestra presión arterial contrayendo los vasos sanguíneos (asegurando que llegue más sangre a los órganos internos y menos a las zonas periféricas); nos hace sudar en mayor medida; relaja la vejiga haciendo que se contraiga el esfínter; e inhibe las funciones digestivas y la salivación. A nivel del SNC nos pone en estado de alerta, activando nuestra corteza cerebral para que reaccione rápidamente a los estímulos. Este conjunto de respuestas se conoce como respuesta de lucha o huida ya que genera los cambios necesarios para entrar en acción (ya sea para luchar o huir) y atravesar cualquier situación nueva, de emergencia o de estrés para la que debemos estar preparados para reaccionar rápidamente. Los nervios simpáticos tienen su origen en los segmentos dorsal o torácico y lumbar de la médula espinal. Estos cambios que genera la rama simpática están mediados, principalmente, por los neurotransmisores adrenalina (AD) a nivel periférico y noradrenalina (NA) a nivel central.

2b) **Sistema nervioso Parasimpático:** es la rama que le pone un freno a los cambios generados por la vía simpática (frena, "para" al simpático). De este modo, prepara al cuerpo para el reposo y la digestión y se pone en funcionamiento en dichas situaciones. Estimula las funciones asociadas con la conservación y el resguardo de las reservas funcionales del organismo. Por ejemplo, produce un descenso de la frecuencia cardíaca y un aumento de la actividad gastrointestinal, estimulando la digestión, la absorción de nutrientes y la fase de orgasmo de la respuesta sexual humana. Los nervios que la integran nacen en el encéfalo, formando parte de los nervios craneales oculomotor, facial, glossofaríngeo y vago. En la médula espinal se encuentra a nivel de las raíces cervicales y sacras. Sus efectos están mediados principalmente por el neurotransmisor acetilcolina (AC).

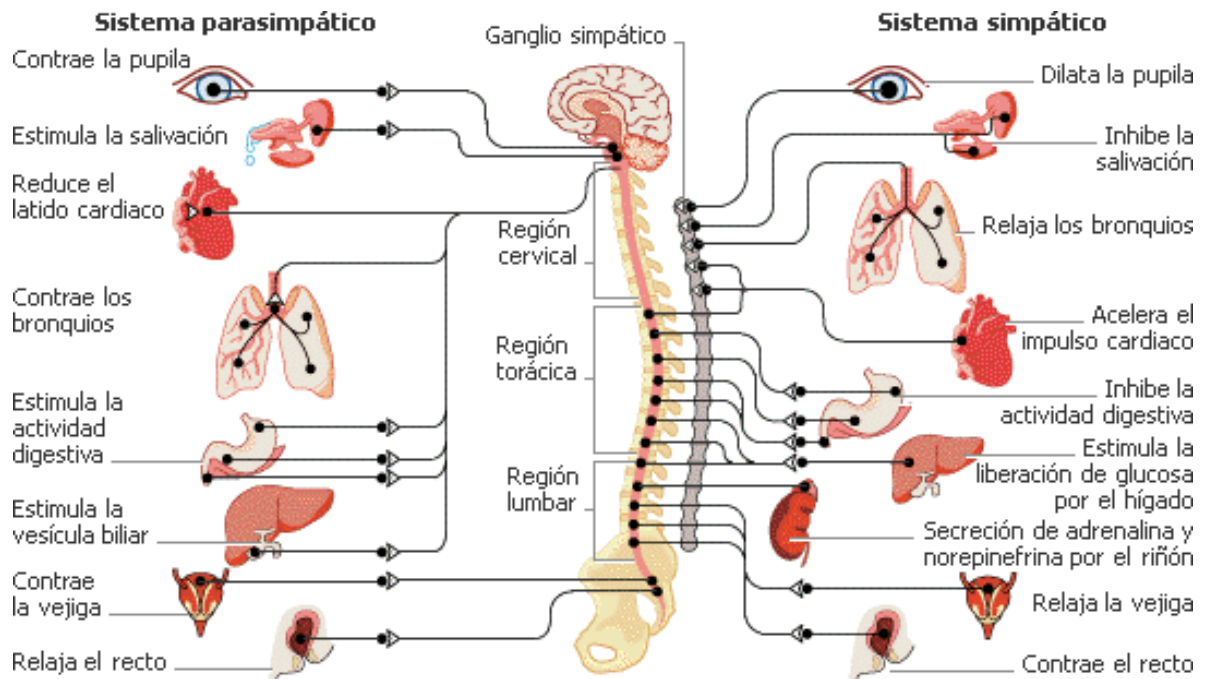


Figura 3. Representación del origen y destino de las vías simpáticas y parasimpáticas del Sistema Nervioso Autónomo. Fuente: https://www.researchgate.net/figure/Figura-7-Diagrama-ilustrativo-de-la-disposicion-general-del-sistema-nervioso-autonomo_fig4_276269419 (Recuperado el 05/05/25).

Bibliografía

- Frenquelli, R. (2002). *Psicofisiología. Una aproximación bio-lógica a la comprensión del hombre*. Rosario: Homo Sapiens. (Capítulos 7 y 8).
- Freud, S. (1994) Algunas consideraciones con miras a un estudio comparativo de las parálisis motrices orgánicas e histéricas. En J. Strachey (Ed.) & J. L. Etcheverry (Trad.), *Sigmund Freud Obras completas* (1ª ed. en castellano, 4ª reimpresión, Vol I, p 191-201. Buenos Aires: Amorrortu. (Trabajo original publicado en 1893).
- Guyton, A. (1997). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso: neurociencia básica*. Madrid: Médica Panamericana. (Capítulos 1 y 2).
- Kalat, J. (2010). *Psicología biológica*. México: Cengage Learning.
- MacLean, Paul (1973) *A triune concept of the brain and behaviour*. Ontario Mental Health Foundation, Canadá 1973
- Rosenzweig, M, Leiman, A., Breedlove, S. (2001). *Psicología biológica*. Barcelona: Ariel.

Estructuras protectoras del sistema nervioso central

Romina Scaglia

La capacidad de responder a los cambios del medio interno o externo, es decir, la **irritabilidad**, tiende a localizarse en las estructuras de las superficies biológicas. En seres relativamente simples como son los unicelulares, se localiza en la membrana que los limita y separa del entorno. Sus membranas poseen receptores, que se activan ante estímulos específicos. La excitación se difunde luego por todo el cuerpo celular, generando a posteriori, una respuesta.

En los pluricelulares con diferenciación celular, si bien la irritabilidad continúa siendo patrimonio de cada célula debido al principio de la división del trabajo, ésta se organiza en algunas estructuras especializadas. En los mamíferos, el ectodermo (la capa embrionaria más externa) dará origen a la epidermis (capa externa de la piel), una estructura que mantiene estrecho contacto con el exterior y que, al modo de la membrana de los unicelulares será la encargada de recibir los estímulos de dicho medio. Sin embargo, este mecanismo parece no haber sido suficiente, quizás porque la epidermis no es capaz de recibir información del medio interno. El hecho es que la historia filogenética de este grupo de animales tendió a la especialización de otro grupo de células ectodérmicas, caracterizadas por su irritabilidad y conductibilidad: las neuronas. Estas se introducen en el embrión (recordemos que en nuestra especie el crecimiento del ectodermo forma una depresión o surco neural que hace que se proyecte al interior del cuerpo formando el tubo neural), desarrollan ramificaciones que se extienden a todos los órganos internos y hacia la superficie corporal y, uniéndose entre sí, forman el tejido nervioso, especializado en recibir, procesar y conducir estímulos rápidamente, actuando como un fundamental factor de integración y supervivencia.

En nuestra especie, el sistema nervioso (SN) no sólo permite la captación de estímulos y la emisión de respuestas a los mismos. También es modificado por dichos estímulos y es capaz de modificar las respuestas a los mismos (neuroplasticidad), para intentar mejorarlas y ajustarlas cada vez más (archivando estos intentos en una memoria individual). Es, por tanto, un medio para el aprendizaje y la supervivencia; y gracias al aprendizaje, y lo innato (guardado en el ADN de nuestra especie) ningún ser humano “empieza de cero”. La experiencia ancestral y la de sus contemporáneos, incide en su comportamiento. Además, el SN sirve de sustrato biológico del proceso de subjetivación (fruto de las “nupcias” entre maduración neurológica y vínculo intersubjetivo). Debido a esta enorme importancia que tiene el SN para la especie humana, es comprensible que para protegerlo de posibles daños que puedan

ocasionarle factores externos, la historia evolutiva lo haya confinado al interior de nuestro organismo, sin hacerle perder los vínculos con los estímulos del exterior (ambientales y sociales). Así y todo, parece que esto no ha sido suficiente. En nuestra especie, la seguridad del sistema nervioso central (SNC) ha sido reforzada por millones de años de evolución y se han mantenido diversas estructuras protectoras que probaron ser eficaces en especies filogenéticamente más antiguas.

Podríamos decir que las protecciones de nuestro SNC son de cuatro tipos: óseas, membranosas, líquidas y celulares. Entre las células gliales, las encargadas de custodiar al SNC son los astrocitos, las células endoteliales y las microgliales. El conjunto de todas estas protecciones no sólo resguarda al SNC de daños físicos (golpes o lesiones), sino también de las fluctuaciones que sufren diversas sustancias en el torrente sanguíneo, y de otras que podrían ingresar en él a través de la sangre.

I. Las estructuras óseas

La protección **más externa** es ósea. Está formada por los huesos del cráneo y de la columna vertebral, preservando al SNC de posibles golpes o lesiones físicas. (Figura 1)

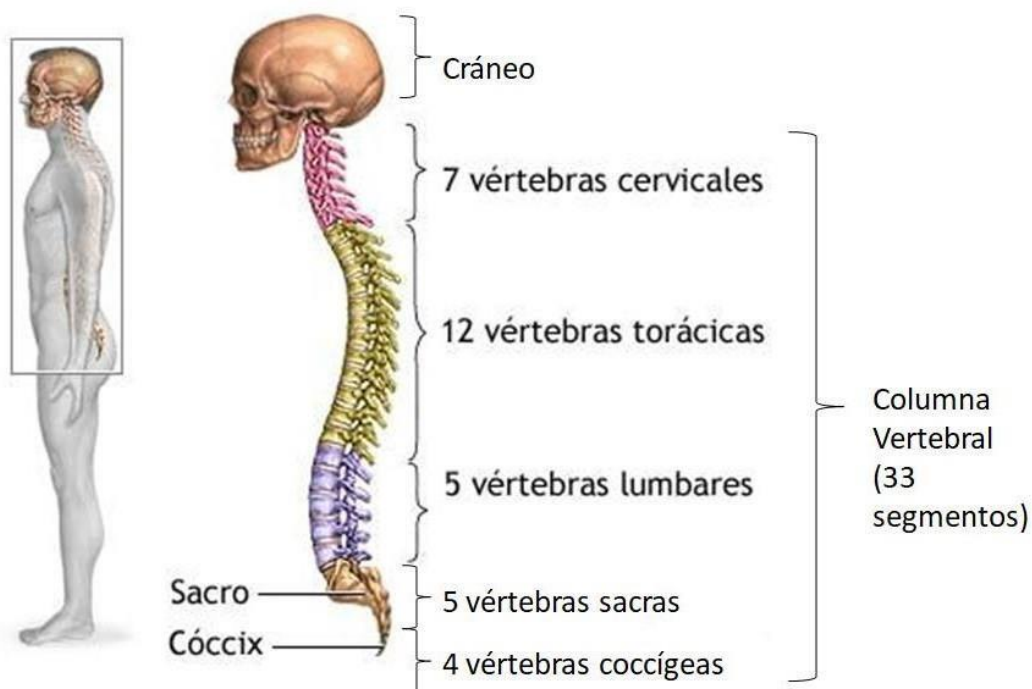


Figura 1. A la derecha, el cráneo y los segmentos de la columna vertebral agrupados en zonas. A la izquierda, la disposición de estas estructuras dentro de un cuerpo humano. Fuente: <https://fundacionannavazquez.wordpress.com/2007/10/08/columna-vertebral-y-craneo/> (Recuperado el 05/05/25)

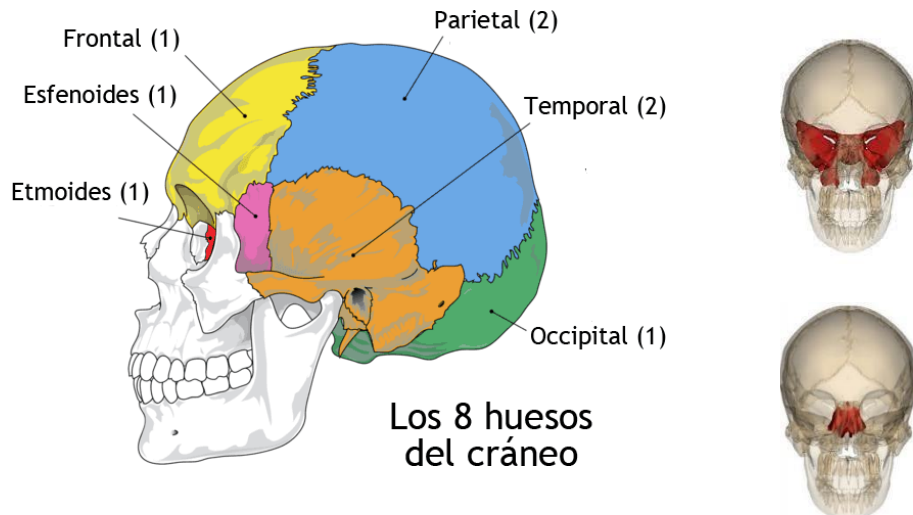


Figura 2. A la izquierda, una vista lateral de los ocho huesos que conforman el cráneo. Los parietales y temporales son dobles (pares -2-), uno a la derecha y otro a la izquierda. Los demás, son huesos únicos (impares -1-).

Fuente:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%A1neo#/media/Archivo:Human_skull_side_simplified_\(bones\)-es.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Cr%C3%A1neo#/media/Archivo:Human_skull_side_simplified_(bones)-es.svg)

Arriba a la derecha, una visión frontal del Esfenoides: hueso con forma de mariposa o murciélago. Fuente:

[https://www.slideshare.net/slideshow/hueso-esfenoides-](https://www.slideshare.net/slideshow/hueso-esfenoides-27428574/27428574?_gl=1*4ek8vw*_gcl_au*NDM0ODQzMzg2LjE3NDY0OTg2NDM)

[27428574/27428574?_gl=1*4ek8vw*_gcl_au*NDM0ODQzMzg2LjE3NDY0OTg2NDM](https://www.slideshare.net/slideshow/hueso-esfenoides-27428574/27428574?_gl=1*4ek8vw*_gcl_au*NDM0ODQzMzg2LjE3NDY0OTg2NDM). Abajo a la derecha,

vista frontal del Etmoides. Fuente: <https://www.slideshare.net/slideshow/odontologa-anatoma-humana-i-hueso-etmoides/88931728>

La cabeza ósea (o “calavera” en términos coloquiales) está formada por los huesos de la cara y del cráneo. El **cráneo** (también denominado **neurocráneo**) es una caja ósea que *contiene y protege fundamentalmente al encéfalo*. En el humano adulto está formado por la articulación de ocho huesos que forman una cavidad abierta y ovoide, con una capacidad aproximada de 1.450 cm³. Los huesos del cráneo y su ubicación se muestran en la Figura 2.

Los huesos del cráneo que protegen al encéfalo son:

- **Frontal:** hueso único (impar) que ocupa la parte anterosuperior del neurocráneo. Está situado por delante de los huesos Parietales, y por encima y adelante del Etmoides y del Esfenoides.
- **Esfenoides:** hueso único, con forma de mariposa o murciélago, situado (Figura 2) en la porción media anterior del cráneo (a la altura de la sien). Constituye parte de las fosas nasales y las cavidades orbitarias (donde se asienten los globos oculares y sus anexos). En él se encuentra la “silla turca” sobre la cual se ubica la glándula hipófisis.
- **Etmoides:** hueso único, corto y compacto situado entre el Frontal y el Esfenoides y por detrás del hueso nasal (Figura 2). Forma el suelo de las cavidades orbitarias y el techo de las fosas nasales. Está diseñado especialmente para contener las raíces nerviosas del nervio olfatorio (SNP).

- **Occipital:** hueso único ubicado en la parte posteroinferior del cráneo. Se articula con la primera vértebra de la columna.
- **Parietal:** hueso par, bilateral (derecho e izquierdo), situado por detrás del Frontal, por encima del Temporal y por delante del Occipital
- **Temporal:** hueso par, bilateral, situado por debajo de los Parietales, y entre el Esfenoides y el Occipital. Contiene el órgano vestibulococlear (u oído interno).

Los *doce pares de nervios craneales* que forman parte del sistema nervioso periférico (SNP) surgen del SNC, para distribuirse a través de los agujeros ubicados entre los huesos de la *base del cráneo* y llegar a la cabeza, cuello, tórax y abdomen. Se incluye la Figura 3 a modo de ilustrar esta disposición.

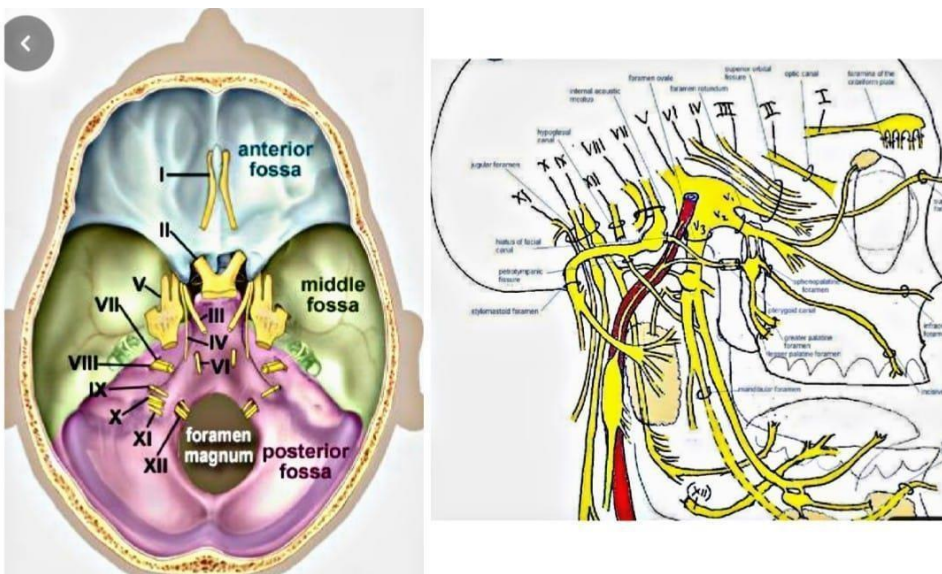


Figura 3. A la izquierda, vista superior de un corte horizontal del encéfalo que muestra los orificios de la base del cráneo por donde pasan los 12 pares (derecho e izquierdo) de nervios craneales (en color amarillo e

identificados con números romanos). A la derecha, una visión lateral del origen y proyección de cada nervio derecho del par craneal. Fuente: <https://www.odontovida.com/2022/05/los-12-pares-craneales-importancia.html> (Recuperado el 05/05/25).

La **columna vertebral** (también llamada **espina dorsal** o **raquis**) *contiene y protege a la médula espinal*. Es un conjunto de huesos situados en la parte media y posterior del tronco del cuerpo humano. Se extiende desde el agujero occipital del cráneo (base en la que se inserta la cabeza a la cual sostiene), pasando por el cuello y la espalda, hasta la pelvis. Está compuesta por 33 vértebras de distinto tamaño y forma: 7 cervicales, 12 torácicas, 5 lumbares, 5 sacras y 4 coccígeas (Figura 1). Cada vértebra posee tres agujeros. El agujero central, denominado *conducto vertebral*, aloja a la médula espinal. Los dos agujeros laterales (derecho e izquierdo) denominados *agujeros intervertebrales*, permiten el paso de los *31 pares de nervios espinales* (derecho e izquierdo) que forman parte del SNP (Figura 4).

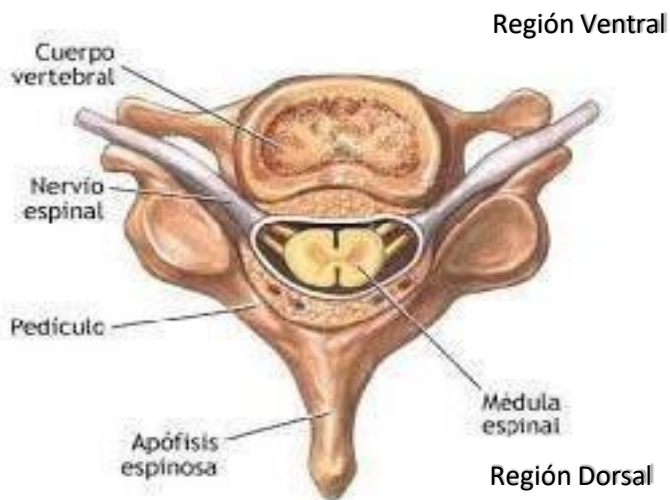


Figura 4. Corte horizontal de una vértebra vista desde arriba con su cuerpo vertebral (parte ventral), su apófisis (parte dorsal), y los dos agujeros intervertebrales donde se ubica el par de nervios espinales (derecho e izquierdo). En el espacio interior de la vértebra, se observa la médula espinal, a la cual protege.

Fuente:

<https://ssl.adam.com/content.aspx?productid=618&pid=5&gid=001066&site=eep-aadse3.adam.com&login=EBIX226>
 9 (Recuperado el 05/05/25).

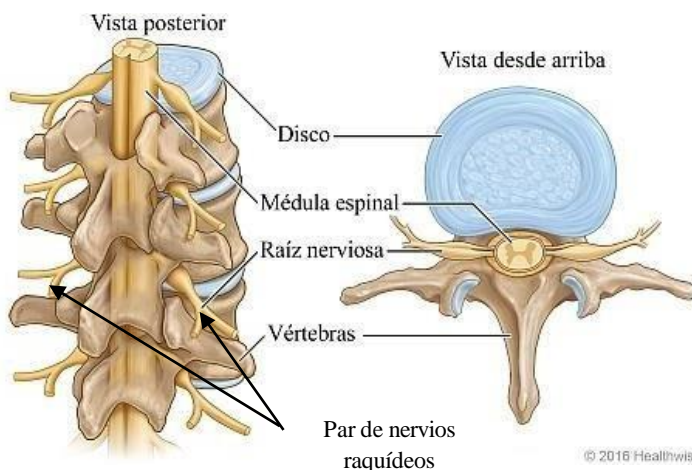


Figura 5. A la izquierda, la visión posterior (dorsal) de un segmento raquídeo compuesto por tres vértebras. Muestra el origen de cada par de nervios espinales y su salida a través de los agujeros intervertebrales correspondientes. En azul están representados los discos intervertebrales. Fuente:

<https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/anatoma-de-la-mdula-espinal-zm2325> (Recuperado el 05/05/25)

Entre cada vértebra hay un *disco intervertebral*, una estructura fibrocartilaginosa (relicto de la notocorda embrionaria) que amortigua el roce y la presión entre las vértebras, y cuyo “aplastamiento” ocasiona las hernias de disco (Figura 5). Esta composición de vértebras separadas, pero articuladas entre sí por discos intervertebrales le confiere movimiento, articulación y resistencia a la columna vertebral, posibilitando los movimientos de rotación, inclinación o flexoextensión de la cabeza (a cargo de las vértebras cervicales) y del tronco del cuerpo (si la columna fuera un hueso único nos resultaría imposible sentarnos, inclinarnos hacia adelante para recoger un objeto del piso, girar, inclinar el cuello, etc.). Una columna articulada agrega a nuestra especie una diferencia esencial con respecto a las demás: la

capacidad de bipedestación, es decir, de desplazarnos en posición erguida sin perder el equilibrio.

II. Las membranas meníngeas: duramadre, aracnoides y piamadre

Las meninges son tres membranas de origen *mesodérmico* que recubren a todo el SNC (tanto al encéfalo como a la médula espinal) y añaden una protección blanda que complementa la de las estructuras óseas. También envuelven a los vasos sanguíneos arteriales que se adentran en el tejido nervioso, impidiendo, a modo de filtro, la entrada al SNC de microorganismos, sustancias y micropartículas que, circulando por la sangre, pudieran generar inflamaciones, infecciones o daño neurológico, y comprometer seriamente la vida del sujeto. A su vez, las meninges delimitan una serie de espacios con funciones muy importantes para el SNC. Desde la superficie interna de los huesos hasta llegar al SNC estas tres membranas y los espacios que delimitan se disponen como se muestran en la Figura 6.

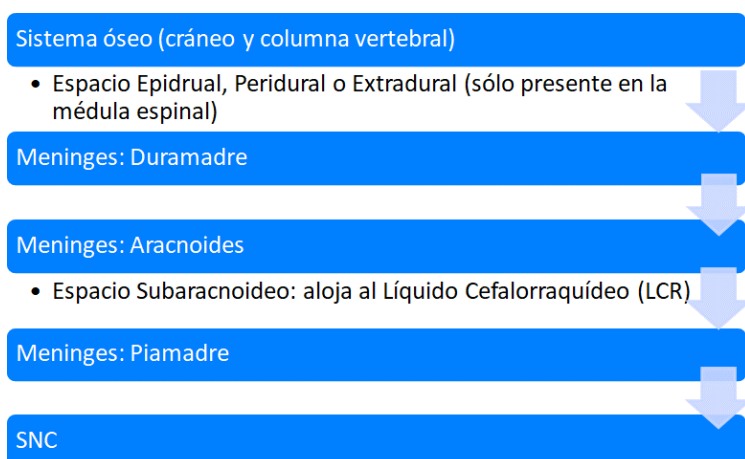


Figura 6. Esquematiza el ordenamiento de espacios y meninges desde los huesos hacia los órganos del SNC.

La **duramadre** es la capa meníngea más externa. Se trata de una membrana fibrosa, fuerte y poco elástica ubicada entre las estructuras óseas y la aracnoides (Figura 6 y 7). Aporta sostén y resistencia mecánica. A nivel del encéfalo, el lado externo de la duramadre está fuertemente adherido a la pared interna de los huesos del cráneo, restringiendo los movimientos excesivos del encéfalo cuando sacudimos la cabeza o nos desplazamos y aceleramos y desaceleramos. Por el contrario, a nivel de la médula espinal, está separada del canal vertebral por el **espacio epidural, peridural o extradural**. La función de este espacio ubicado por fuera de las meninges es permitir los movimientos flexibles de la columna, para sentarnos, agacharnos, etc., sin que se dañe la médula espinal. También es de enorme importancia en la clínica, ya

que en él se pueden inyectar anestésicos locales (anestesia peridural) que permiten algunas intervenciones quirúrgicas (principalmente, las que se ubican por debajo el ombligo) y aliviar los dolores de la expulsión de cálculos renales o del parto (Figura 7).



Figura 7. La anestesia peridural en obstetricia es utilizada en forma local para suprimir los dolores del parto. Por ser local, esta anestesia permite que la persona esté conciente y pueda pujar. La duramadre está representada por una fina línea de color blanco adyacente a la pared interna de las vértebras. Fuente: <https://www.euroresidentes.com/salud/anestesia-epidural-durante-el-parto/> (Recuperado el 05/05/25).

La **aracnoides** es la membrana meníngea intermedia, ubicada entre la duramadre y la piamadre. La **piamadre** es la meninge más interna. Se adhiere a toda la superficie externa de la médula y del encéfalo (incluso reviste las circunvoluciones cerebrales, sus surcos y cisuras). Entre la aracnoides y la piamadre se ubica un delgado espacio, denominado **espacio subaracnoideo** (Figura 8). Por este espacio pasan todas las venas y arterias del sistema nervioso. La importancia de este espacio reside en que por él circula el **líquido cefalorraquídeo**, otra protección del SNC que será desarrollada en el apartado siguiente.

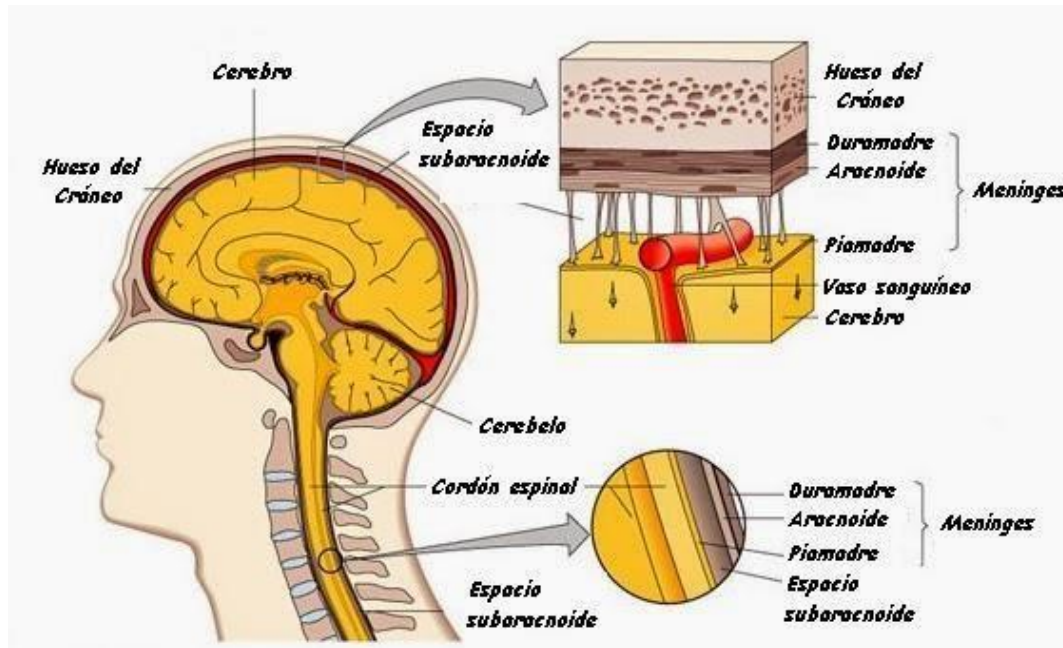


Figura 8: Ubicación de las meninges y del espacio subaracnoideo rodeando al encéfalo y la médula espinal.

Fuente:

https://educacion.sanjuan.edu.ar/mesj/LinkClick.aspx?fileticket=TJU_3MNnN9I%3D&tabid=677&mid=1740

(Recuperado el 05/05/25).

III. El líquido cefalorraquídeo (LCR)

Es un líquido transparente y cristalino, constituido principalmente por agua. En menor proporción contiene electrolitos (como sodio, potasio y cloruro), pequeñas cantidades de glucosa y proteínas, y una mínima cantidad de linfocitos. Se forma a partir de un “filtrado” de la sangre proveniente de los vasos sanguíneos que se introducen en el tejido nervioso. Este filtrado está a cargo de los *epitelios coroideos*, unas células que constituyen la **barrera sangre-LCR** que será tratada en el apartado siguiente. Para entender el alcance de las funciones del LCR, resulta importante describir brevemente su circulación. Circula rodeando al SNC tanto por dentro como por fuera. Por dentro, circula por un sistema de cavidades internas del SNC (Figura 9) constituidas por los **ventrículos cerebrales** (donde se forma el LCR) y el **conducto endimario** (o **canal central** de la médula espinal que la atraviesa internamente). Todas estas cavidades mencionadas están comunicadas entre sí por orificios específicos por donde pasa el LCR de una a otra. Al mismo tiempo, sale del cuarto ventrículo para circular por el **espacio subaracnoideo** que rodea externamente al SNC (Figura 10). El ritmo de su circulación es por pulsos, es decir que va acompasado a los latidos cardíacos.

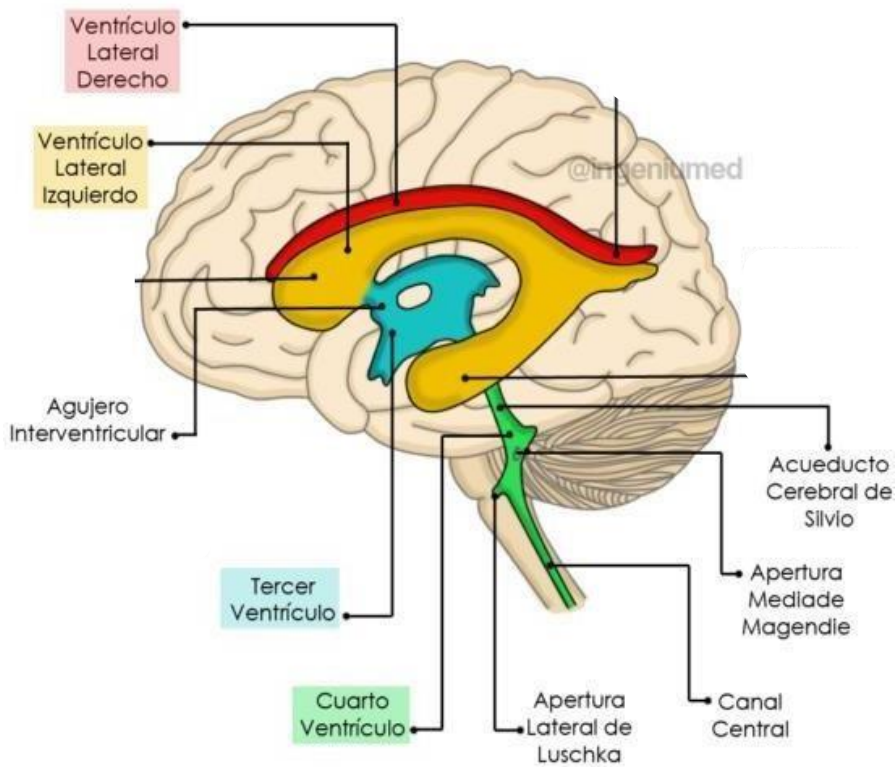


Figura 9. Visión tridimensional del tejido nervioso que permite apreciar la ubicación anatómica del sistema ventricular y del canal central medular (o conducto endimario) y su interconexión a través de orificios específicos.
Fuente:

<https://ar.pinterest.com/pin/anatoma--777785798154269591/> (Recuperado el 05/05/25)

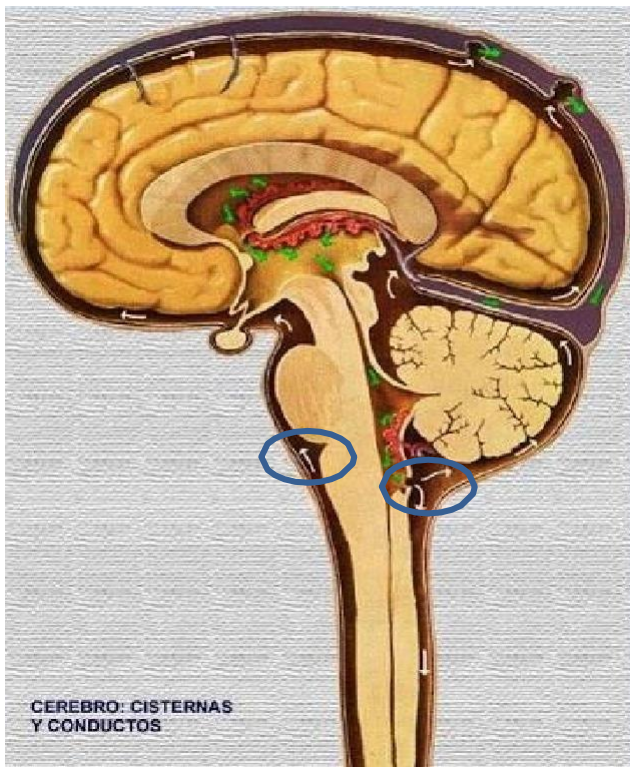


Figura 10. Corte sagital del SNC. Las flechas de color verde muestran la formación del LCR en los ventrículos y su pasaje por los orificios que los conectan, es decir, su circulación por las cavidades internas del SNC. Las flechas de color blanco indican cómo fluye este líquido por el espacio subaracnoideo (alrededor del SNC). Los círculos azules señalan dos *cisternas* o ensanchamientos del espacio subaracnoideo. En color rojo se representan los vasos sanguíneos que llegan al interior de los ventrículos.

Fuente: <https://www.slideshare.net/slideshow/liquido-cefalorraquideo-15203211/15203211> (Recuperado el 05/05/25).

El LCR ejerce importantes funciones en nuestro SNC. Amortigua los golpes que puede sufrir el tejido nervioso contra los huesos del cráneo o del raquis. Da flotabilidad al encéfalo, aliviando su peso sobre la columna vertebral (de unos 1400 gramos hasta unos 50 gramos). Mantiene una presión intracraneal adecuada y constante (compensando los cambios a fin de mantener la homeostasis). Lubrica los haces de mielina. Elimina los desechos producidos por las neuronas. Y en menor medida, participa en la nutrición de las células nerviosas.

Varias enfermedades pueden alterar la cantidad (y/o composición) del LCR y, por tanto, el tamaño de los ventrículos cerebrales. Las más comunes son la hidrocefalia, la meningitis (inflamación de las meninges que forman el espacio subaracnoideo) y la ventriculitis. Cursan con dolores de cabeza, náuseas, visión borrosa o sensibilidad a la luz, y otros síntomas. Si no se tratan producen un aumento de la presión intracraneal, atrofia cerebral y, en consecuencia, deterioro cognitivo.

También se ha observado que en enfermedades neurodegenerativas (como el Alzheimer) los ventrículos se expanden compensando la atrofia cerebral generada por la disminución de la masa de tejido nervioso. Algunos científicos han encontrado correlaciones entre la esquizofrenia y el agrandamiento de los ventrículos cerebrales. No obstante, no está claro si son los trastornos mentales los que dan lugar al agrandamiento de los ventrículos o si es la dilatación ventricular la que causa los trastornos mentales (Carlson, 2006). Por otra parte, también pueden producirse obstrucciones en el sistema ventricular debidas a tumores, quistes, traumatismos, anomalías en el desarrollo, malformaciones vasculares (aneurismas), etc.

IV. Las barreras fisiológicas y el papel de las células gliales

El concepto de barrera fisiológica se refiere a la peculiar impermeabilidad observada en el SNC frente a gran cantidad de sustancias que circulan por la sangre. Este sistema de "barrera" estabiliza el medio físico y químico que rodea a las neuronas y las mantiene en una especie de aislamiento a pesar de su rica irrigación sanguínea. Las "barreras" constituyen zonas donde existe una difusión restringida de moléculas a través de las membranas, debido, fundamentalmente a las **uniones impermeables o de oclusión** (también llamadas uniones estrechas o ajustadas) que establecen las células que las forman. Según su ubicación, estructura y función, se puede diferenciar tres barreras: la *barrera sangre-líquido cefalorraquídeo* (o *barrera hemato-líquido cefalorraquídeo*), la *barrera hematoencefálica o hematoencefalomedular*, y la *barrera encéfalo-líquido cefalorraquídeo*.

1) La barrera sangre-líquido cefalorraquídeo (o barrera hemato-líquido cefalorraquídeo)

Esta barrera está directamente relacionada con la formación y reabsorción del líquido cefalorraquídeo. El LCR se forma dentro de los ventrículos cerebrales a los que ingresan los vasos sanguíneos (representados en color rojo en la Figura 10) que son vasos fenestrados (esto significa que sus paredes poseen pequeños agujeros u orificios por donde pueden pasar las sustancias que circulan por la sangre). Entre estos vasos sanguíneos fenestrados y el LCR ya formado en el interior de los ventrículos, se ubican las células endimarias modificadas que forman el **epitelio coroideo** (Figura 11). El epitelio coroideo se caracteriza por presentar *uniones impermeables o de oclusión* entre sus células endimarias. Gracias a estas uniones, las células del epitelio coroideo forman la **barrera sangre-LCR**, ya que al ocluir el espacio intercelular impiden el pasaje de sustancias *entre* sus células. Sólo permiten que algunas sustancias pasen *a través* de sus células, es decir, atravesando sus membranas, para lo cual deberán utilizar transportadores específicos. Estos transportadores son específicos para la entrada de agua y de determinados nutrientes (como la glucosa) al LCR, y para la salida de desechos a la sangre.

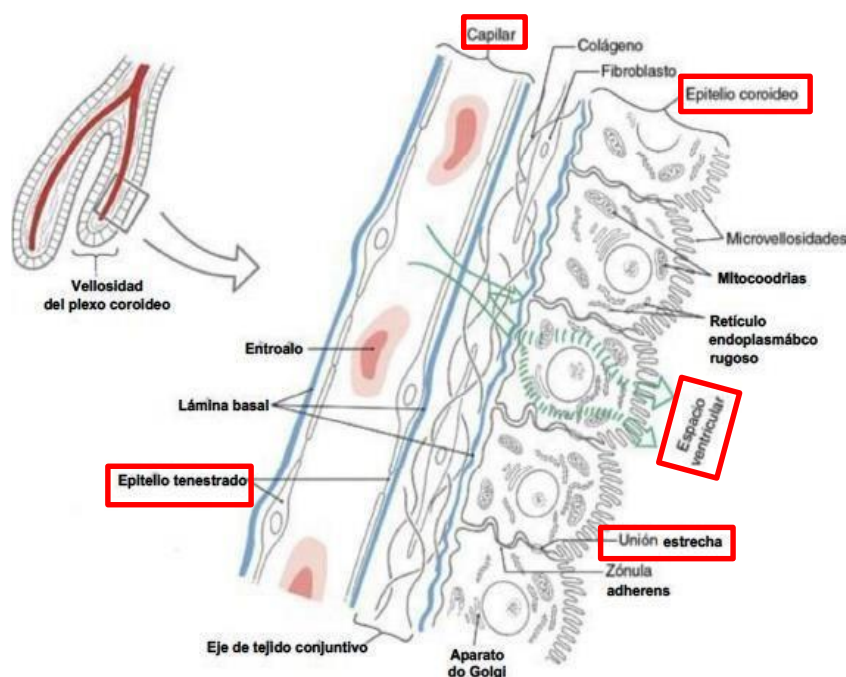


Figura 11. Epitelio coroideo. Las principales estructuras están recuadradas en rojo. Se puede observar la pared fenestrada de los capilares sanguíneos y las uniones impermeables (estrechas) entre

las células del epitelio coroideo. Fuente: <https://medium.com/@liborioescobedo/tela-coroidea-plexo-coroideo-de1c03907343> (modificada).

Gracias a esto, el epitelio coroideo **filtra constantemente el plasma sanguíneo y lo secreta al interior de los ventrículos como LCR**. Produce alrededor de 500 ml de LCR por día y lo recambia en su totalidad unas 3 o 4 veces por día (es decir cada 6 u 8 horas), pero manteniendo siempre una cantidad relativamente constante.

Las **cisternas** (Figura 10) son pequeños sitios donde el espacio subaracnoideo se agranda. De la cisterna lumbar, ubicada por detrás de la segunda vértebra lumbar

(L2), se puede extraer (mediante la denominada punción lumbar) una muestra de LCR para analizar su composición y transparencia en casos de sospecha de infecciones nerviosas (por ej., meningitis) o lesiones. Estos diagnósticos se confirman cuando el LCR deja de ser cristalino y transparente debido a la acumulación de células, microorganismos y/o sustancias tóxicas.

2) La barrera hematoencefálica (BHE) o barrera hematoencefalomedular (BHEM)

Se la descubrió vinculada al encéfalo, pero luego se determinó que también está presente a nivel de la médula espinal, por lo cual “barrera hematoencefalomedular” sería una denominación más precisa y actualizada (Snell, 2014, p. 462). Su existencia fue probada en 1885 por Paul Ehrlich, médico alemán que inyectó una anilina azul en la sangre de una rata, la cual tiñó de ese color todo el cuerpo, excepto una gran parte del SNC, evidenciando así que esas partes del SNC no tienen contacto directo con la sangre. Recién en 1960 se pudo determinar la microestructura y localización de esta BHEM.

Esta barrera, a diferencia de la anterior, está constituida por las *uniones impermeables* que establecen **las células que forman las paredes de los capilares sanguíneos**. Es decir que se trata, en este caso, de capilares no fenestrados (Figura 12). Esto evita que las sustancias que circulan por los capilares pasen *entre* las células de sus paredes, obligándolas a pasar *a través* de sus células mediante mecanismos de transporte específicos de membrana. A esta formación se le suman las prolongaciones (“podocitos”) de los *astrocitos* que se adhieren a la superficie exterior de la pared capilar (Figura 12).

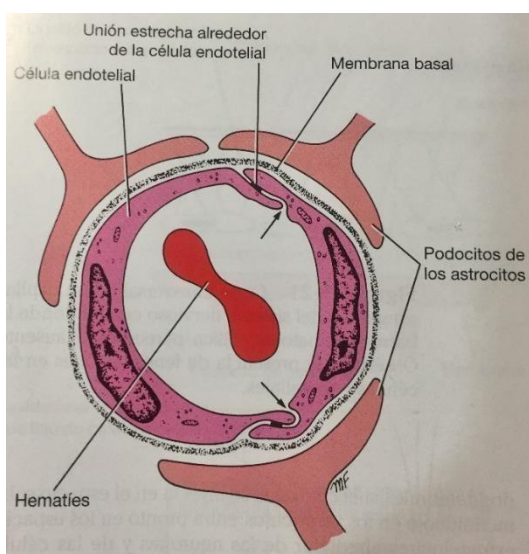


Figura 12. Muestra la microestructura que constituye a la BHEM. Se puede observar, la luz de un capilar (en donde está representado un glóbulo rojo, eritrocito o hematíe). Las células que forman la pared del capilar están unidas de manera impermeable o estrecha (sin fenestraciones). A su vez se visualizan los pies (o podocitos) de los astrocitos por fuera de la membrana basal. Fuente: Snell, 2014, p.774.

Los **astrocitos** son el tipo más abundante de células gliales. Recubren el exterior de los capilares sanguíneos con sus proyecciones celulares (llamadas pies

astrocíticos, pies astrocitarios o podocitos) y liberan sustancias que obligan a las células de la pared de los capilares a ajustar cada vez más sus uniones impermeables, reforzando el efecto “barrera” (Figura 13). Además, los astrocitos median entre las neuronas y las sustancias que podrían llegar a atravesar las membranas de los capilares, formando parte también de la BHEM.

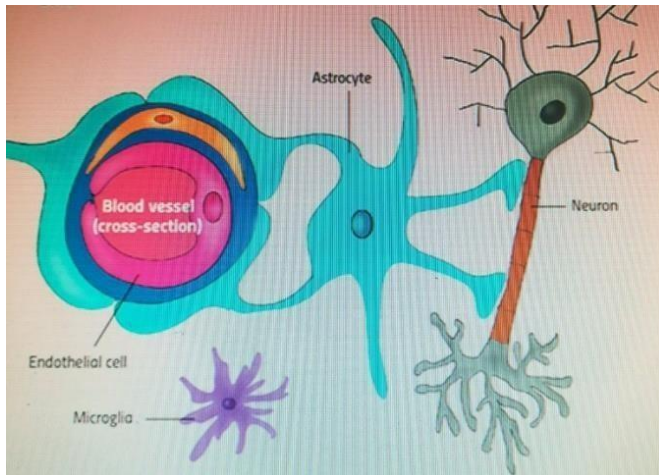


Figura 13. Sección transversal de un vaso sanguíneo (color rojo); célula endotelial (color fucsia) no fenestrada (en unión impermeable) y astrocito (color celeste) mediando entre la pared del vaso sanguíneo a través de sus podocitos, y el axón neuronal (color marrón). También se ilustra la microglia (color violeta). Fuente:

<https://www.scienceinschool.org/es/article/2018/guardian-brain-blood-brain-barrier-es/>

En virtud de su composición, la BHEM tiene una permeabilidad altamente selectiva. Permite que los capilares sanguíneos fluyan libremente hacia el interior del tejido nervioso, trayendo sustancias necesarias para el metabolismo neuronal que podrán atravesarla; pero **impide que determinadas sustancias que circulan por la sangre alcancen a las neuronas del SNC**. Pequeñas moléculas liposolubles (como O_2 o CO_2) la pueden atravesar por difusión. Sustancias hidrofílicas como la glucosa (fuente de energía para las neuronas) y los aminoácidos (algunos de ellos “esenciales”) necesarios para sintetizar neurotransmisores pasan a través de transportadores específicos. Sin embargo, impide el pasaje de iones y de otras sustancias tóxicas, hidrofílicas o de gran tamaño (proteínas y sustancias asociadas, virus, bacterias) para que no lleguen a afectar el funcionamiento o la excitabilidad neuronal dentro del SNC.

De este modo, la BHEM **protege al tejido nervioso de las variaciones en la composición de la sangre**. En otras partes del cuerpo las concentraciones extracelulares de hormonas, aminoácidos, potasio y glucosa experimentan frecuentes fluctuaciones, especialmente después de las comidas, del ejercicio físico o de las situaciones estresantes. Dado que muchas de estas sustancias afectan la excitabilidad neuronal (por ej., se necesita un nivel bajo de potasio extracelular para permitir la generación del potencial de reposo que vuelve a las neuronas estimulables), fluctuaciones frecuentes de estas sustancias en la matriz extracelular del SNC podrían generar una excitación o inhibición neuronal descontrolada. La BHEM ejerce un control

selectivo sobre la entrada y salida de dichas sustancias al SNC, contribuyendo a mantener la homeostasis del espacio interneuronal.

En algunas zonas de la BHEM puede haber presencia de **microglia** (Figura 13), otro tipo de célula glial. Las microglías son inactivas en el SNC normal, pero cuando se exponen a estímulos que provocan inflamación o heridas incisivas del tejido nervioso (traumatismo), proliferan y pasan a un estado de fagocitosis activa, siendo capaces de degradar en minutos, microbios, neuronas muertas y otros materiales de desecho. Sin embargo, no suelen estar presentes en todos los espacios, dado que cuando son sobreactivadas liberan sustancias que en cantidades excesivas son letales para las neuronas.

La BHEM es una importante vía de interrelación entre los sistemas nervioso e inmunitario, y algunos autores la consideran parte del sistema neuroinmune. Si bien protege al SNC de infecciones, existen algunos virus (VIH, virus de la rabia, de la rubeola o el sarampión) y bacterias (causantes de meningitis, cólera o borreliosis) capaces de atravesarla. De ahí la importancia de la vacunación para muchas de estas enfermedades.

El estrés constituye un factor importante que afecta el funcionamiento y desarrollo de la BHEM. En el adulto el estrés agudo aumenta la permeabilidad de la BHEM a macromoléculas circulantes en la sangre. Existen otras condiciones neuropatológicas que pueden debilitar o romper la BHEM, como la isquemia o la hipoxia, algunos tumores cerebrales, infecciones del SNC o las rupturas de vasos sanguíneos. Esto puede preceder, acelerar o contribuir a una serie de trastornos degenerativos. En este sentido, se sugiere que una BHE con fugas permite el paso de demasiados linfocitos de la sangre hacia el cerebro en las personas con esclerosis múltiple. Estas células atacarían la mielina axonal y activarían a las células microgliales, dando lugar a los síntomas de la enfermedad. Actualmente se está investigando el impacto de distintas hormonas sobre el estado de la BHEM.

3) La barrera encéfalo – líquido cefalorraquídeo

A pesar de la importancia de la BHEM, no es posible mantener al SNC totalmente aislado de lo que ocurre en el resto del cuerpo. La existencia de puntos sin BHEM es necesaria para garantizar el buen funcionamiento del organismo, y también fue demostrada en el experimento de Ehrlich (que tiñó de azul algunos órganos del SNC).

Los **órganos circunventriculares** (que circundan al tercer y cuarto ventrículo) **carecen de BHEM** porque requieren estar en contacto con la sangre para **monitorear la composición sanguínea o para secretar en ella sustancias específicas, recibiendo, a su vez, feedback** (retroalimentación) del estado de sus secreciones en

la sangre. Gracias a su contacto con la sangre, estos órganos ayudan al encéfalo a regular diversas funciones: como mantener la homeostasis de los fluidos corporales; desencadenar el reflejo del vómito cuando alguna sustancia tóxica ingresa en la sangre; modular el ritmo cardiovascular; controlar al sistema endócrino; y generar respuestas centrales febriles e inmunológicas.

Sin embargo, los órganos circunventriculares, por carecer de BHEM son vulnerables a distintos patógenos circulantes en la sangre, e incluso pueden servir de puerta para su entrada al resto del SNC. Para evitar este tipo de peligro, en el lugar donde estos órganos se conectan con el tercer y cuarto ventrículo, existe una **barrera encéfalo-líquido cefalorraquídeo**. Esta barrera está formada por los **ependimocitos** (células gliales que tapizan el interior del sistema ventricular y del conducto endimario) que establecen entre sí *uniones de anclaje o adherentes*, por lo cual esta es una barrera mucho más permeable, ya que permite cierto intercambio de sustancias entre la sangre que llega directamente a los órganos circunventriculares y el LCR que circula por el interior de los ventrículos (Figura 14). Incluso sucede que algunos autores no la consideran como una barrera sino, por el contrario, como un lugar de interacción entre el encéfalo y el LCR.

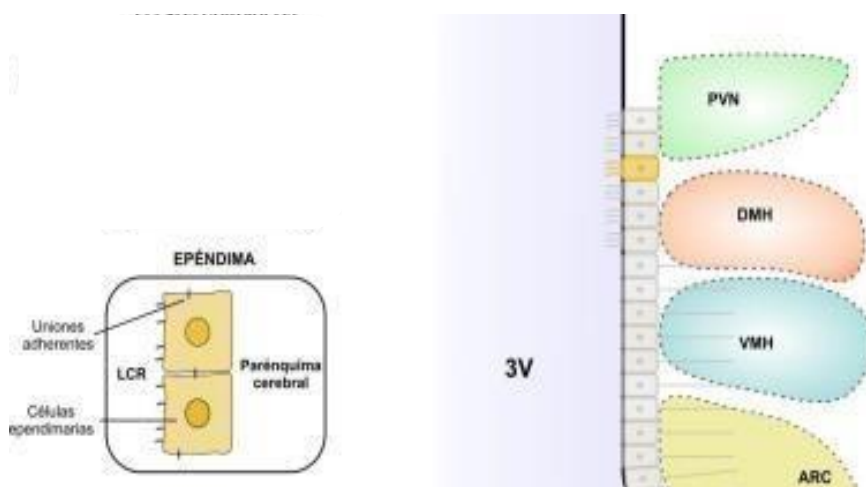


Figura 14.
Esquema del tercer ventrículo (3V) y algunos órganos

circunventriculares (a la derecha). Entre ambos, las células ependimarias forman la barrera encéfalo-LCR, mediante uniones de anclaje (o adherentes) Fuente: Uriarte Donati, 2020, p. 19. (modificada)

A pesar de todas estas barreras que protegen al SNC de las sustancias presentes en la sangre, muchos compuestos liposolubles logran atravesarlas (etanol, nicotina, opiáceos, cocaína, anfetaminas, éxtasis, cannabinoides, etc.). La mayoría de ellos poseen efectos psicotrópicos (es decir, que modifican la excitabilidad neuronal) y también adictivos. Asimismo, los fármacos empleados para tratar los trastornos mentales (ansiolíticos, antidepresivos, antipsicóticos, etc.) y las enfermedades

infecciosas del SNC (antibióticos para la meningitis, por ej.) deben estar diseñados para poder atravesar estas barreras, lo cual no es sencillo de lograr y, aún en la actualidad, representa un problema terapéutico que está alentando diversas líneas de investigación de cara al futuro.

Recordemos que el infans nace con un sistema nervioso inmaduro (escasamente mielinizado y con una BHEM débil). La famosa "inermidad del ser" que mencionan los escritos de Freud y Lacan, alude a esta condición. La madurez estructural y funcional del SN se completa promediando la adolescencia (aproximadamente, al alcanzar los 20 años de edad). Sin embargo, para que esta se complete, no basta con las protecciones del SNC. Es necesario algo más.

En las especies inferiores los individuos son simples y "poco costosos". Su potencia reproductiva es enorme y la selección natural parece actuar bajo el simple mecanismo de la muerte: mueren de a miles los huevos fecundados de los peces y las pequeñas tortugas que apenas nacidas corren locamente para internarse en el mar. Pero el enorme número de gametos que liberan los peces en el agua, y los también numerosos huevos que depositan las tortugas en las playas, posibilita la perduración de la especie. No es lo mismo para las especies superiores. Sus vidas son más extensas, sus crías infinitamente menos numerosas, y no pueden subsistir sin ayuda en las primeras etapas del desarrollo. La selección natural tomó otros caminos que resultaron favorables.

El hecho crucial de la indefensión del recién nacido humano y de su niñez inusualmente prolongada, hizo necesario, como dice Freud (1895/2001), "el auxilio ajeno" (p. 362). En los humanos, además de estas protecciones biológicas, es necesario el vínculo con un otro significativo que pueda desearlo, mantenerlo caliente, reconocerlo como propio, subjetivarlo, alimentarlo, hacerse cargo de su subsistencia y protección durante las primeras etapas de la vida, e introducirlo en el mundo simbólico. Este comportamiento altruista permite, no sólo la maduración neurobiológica sino también su anudamiento con el desarrollo psíquico y la transmisión de la cultura. De este modo observamos que lo biológico, lo psicológico y lo cultural/social, se imbrican en nuestra especie a modo de espiral, interactuando entre sí y retroalimentándose.

Bibliografía

Carlson, N. (2006). Esquizofrenia y trastornos afectivos. En N. Carlson (Eds.), *Fisiología de la conducta* (8ª ed., pp. 579-580). Madrid: Pearson.

Carpenter, M.B. (1994). *Neuroanatomía. Fundamentos*. Buenos Aires: Panamericana.

Dash, P. (1997). Blood brain barrier and cerebral metabolism. *Neuroscience Online*.

Recuperado de: <https://nba.uth.tmc.edu/neuroscience/s4/chapter11.html>

- Escobar, A. & Gómez González, B. (2008). Barrera hematoencefálica: Neurobiología, implicaciones clínicas y efecto del estrés sobre su desarrollo. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 9(5), 395-405.
- Freud, S. (2001). Proyecto de Psicología. En J Strachey (Ed.) & J. L. Etcheverry (Trad.), *Obras completas Sigmund Freud* (1ª ed en castellano, 9ª reimpresión, Vol. 1, pp. 323-389). Buenos Aires: Amorrortu. (Trabajo original publicado en 1895).
- Guyton, A. C. (1994). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso. Neurociencia básica*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- Nácher Carda, V. (1997). *La microglía y su función inmunitaria en el sistema nervioso*. Repositorio Universitat Jaume I. Recuperado de: http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/80608/forum_1995_14.pdf
- Snell, R. S. (2014). *Neuroanatomía clínica*. España: Wolters Kluwer Health. Recuperado de: <https://materialdeestudiocecm.net/download/snell-neuroanatomia-clinica/>
- Uriarte Donati, M. (2020). *Estudio de los mecanismos que median el ingreso de la ghrelina plasmática al cerebro*. (Tesis doctoral inédita) Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas. Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/90225/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Médula espinal: características anatómicas y fisiológicas

Juan Diego Vaamonde

La *médula espinal* forma parte del sistema nervioso central (SNC) junto con el encéfalo, conformado por el cerebro, el cerebelo y el tallo o tronco encefálico. La médula espinal se halla protegida por la columna vertebral o raquis (compuesta por 33 vértebras), las meninges (aracnoides, duramadre y piamadre) y el líquido cefalorraquídeo (LCR). Este último circula por el espacio subaracnoideo y por el conducto central de la médula espinal, denominado *epéndimo*.

La médula espinal constituye la porción filogenéticamente más antigua del SNC humano. En términos generales, mientras el encéfalo controla la sensomotricidad de la cabeza y el cuello, la médula espinal controla la sensomotricidad del resto del cuerpo (tronco y extremidades). No obstante, existen conexiones directas del encéfalo con órganos vitales internos. Por ejemplo, el nervio vago nace en el tronco encefálico e inerva los bronquios, el corazón, el estómago, el páncreas, el hígado y otras vísceras.

Estructura externa de la médula espinal y fisiología asociada

Anatómicamente, la médula espinal está integrada por 31 *segmentos medulares*: 8 cervicales, 12 dorsales o torácicos, 5 lumbares, 5 sacros y 1 coccígeo (Figura 1). Cada segmento medular es una porción de la médula espinal que se corresponde con un único par de nervios espinales o raquídeos. De hecho, tales nervios adoptan el mismo nombre del segmento medular al cual están vinculados.

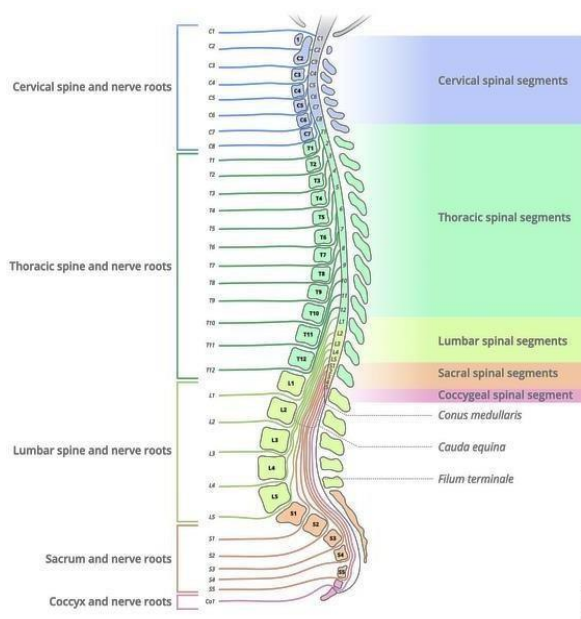


Figura 1. Médula espinal y columna vertebral, con sus respectivos segmentos y raíces nerviosas.
Nota. Fuente: Gaillard (2024)

Cabe aquí aclarar que el sistema nervioso periférico (SNP) está formado por ganglios nerviosos y por 86 nervios que emergen del SNC: 12 pares de nervios craneales (asociados al encéfalo, principalmente al tronco encefálico) y 31 pares de nervios mixtos espinales o raquídeos (asociados a la médula espinal). Por lo tanto, mientras la médula espinal forma parte del SNC, los 31 pares de nervios mixtos conectados con la misma forman parte del SNP.

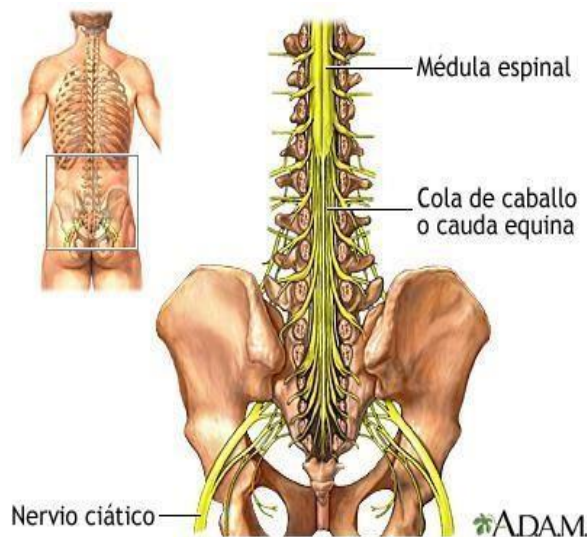


Figura 2. Cauda equina o cola de caballo. Nota. Fuente: Medline Plus (2023).

Como puede observarse en las Figuras 1 y 2, la médula espinal se extiende desde la base del cráneo hasta aproximadamente la segunda vértebra lumbar, continuando luego hasta el cóccix en un filamento fibroso delgado llamado *filum terminal*, rodeado por un conjunto de nervios espinales denominados *cauda equina* o *cola de caballo*. Esta particularidad anatómica se debe al hecho de que la médula espinal (parte del SNC) culmina su crecimiento alrededor de los cuatro años de edad, mientras que la columna vertebral (parte del sistema óseo) continúa creciendo hasta la adultez. Es por ello que la médula espinal de una persona adulta queda ubicada más arriba en el canal vertebral, continuando hacia abajo bajo la forma de filum terminal, rodeado por la cola de caballo. Por tal motivo, los nervios espinales lumbares y sacros de un adulto surgen más arriba en el canal vertebral, dado que los niveles de los segmentos medulares ya no se corresponden con los de las vértebras.

La Figura 3 muestra la organización en segmentos del cuerpo humano denominados *dermatomas* (áreas de la piel inervados por un segmento medular específico) y *miotomas* (conjunto de músculos inervados por un determinado segmento medular). Cada segmento medular se conecta a través de un nervio espinal a un dermatoma y a un miotoma específicos. A grandes rasgos, los segmentos

cervicales controlan los miembros superiores, los segmentos dorsales controlan el tronco y los segmentos lumbares y sacros controlan los miembros inferiores. Por ejemplo, el nervio espinal cervical C8 permite sentir parte de los brazos (dermatoma) y flexionar los dedos (miotoma), en tanto que el nervio espinal sacro S2 posibilita sentir parte de la pierna y flexionar los músculos del pie (miotoma).

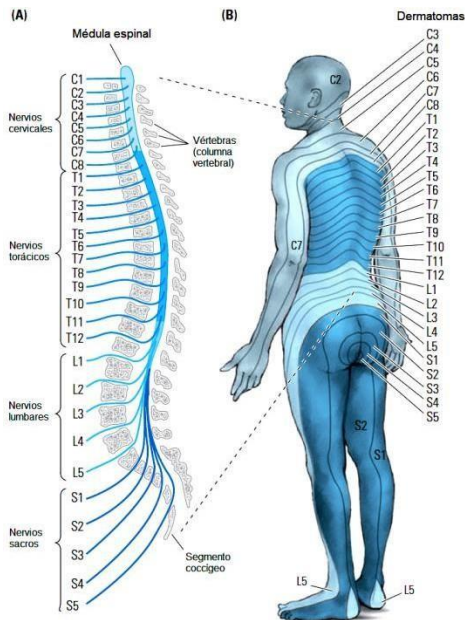


Figura 3. A. Segmentos de la médula espinal que forman la columna vertebral (vista lateral). B. Cada segmento medular corresponde a una región de la superficie de la piel (un dermatoma) que está identificado por el número del segmento.
Nota. Fuente: Kolb y Whishaw (2009).

Las características anatómicas descritas conducen a dos términos vinculados con la fisiología del SNC: *actividad segmentaria* (referida a la actividad nerviosa propiamente medular) y *actividad suprasegmentaria* (vinculada con aquellos procesos que se dan en las estructuras nerviosas por encima [*supra*] de la médula espinal, es decir, en el encéfalo). Por ejemplo, mientras el reflejo de retirada de la mano frente a un pinchazo es una actividad propiamente segmentaria, de orden medular (la respuesta automática se tramita en los segmentos medulares), el esbozo de una sonrisa o la expresión de alegría en el rostro son actos motores suprasegmentarios, de orden encefálico (producidos gracias a la actividad nerviosa combinada del cerebro, cerebelo y tronco encefálico). Otras sensaciones y movimientos involucran e integran ambos tipos de actividad nerviosa. Tal es el caso, por ejemplo, de poder escribir o pintar. Se trata de movimientos voluntarios complejos de la mano que implican actividad tanto suprasegmentaria (encefálica) como segmentaria (medular; en este caso, la médula espinal es la estación nerviosa final para la ejecución de las contracciones musculares correspondientes).

Estructura interna de la médula espinal y fisiología asociada

Si se realiza un corte transversal de la médula espinal, pueden distinguirse áreas de sustancia gris (correspondientes a cuerpos neuronales, fibras sin mielina y algunas

células gliales) y áreas de sustancia blanca (correspondientes principalmente a axones mielinizados). Esta disposición anatómica puede observarse en la Figura 4.

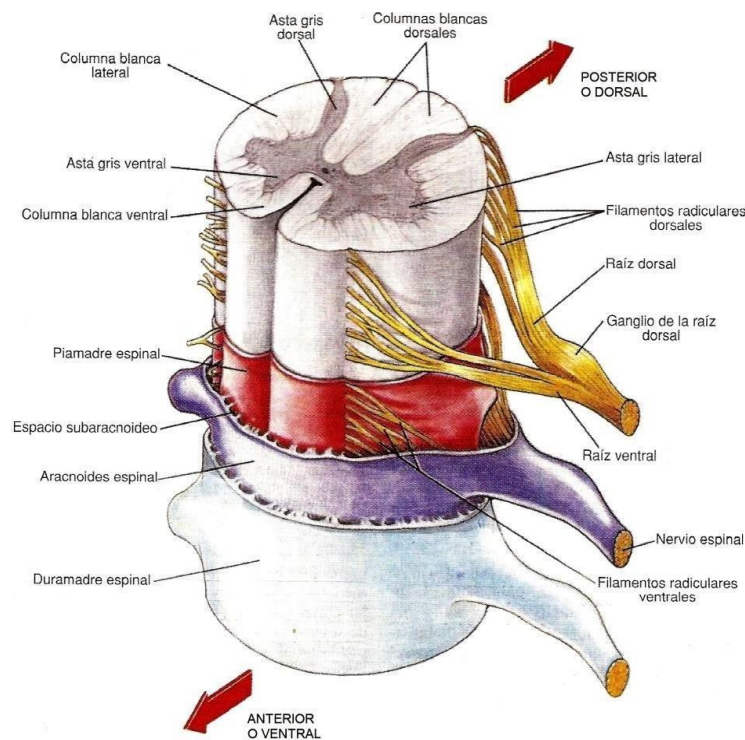


Figura 4. Sección transversal de la médula espinal. Obsérvese sus conexiones con los nervios espinales por medio de las raíces dorsales y ventrales de los nervios espinales. También las membranas que protegen la médula espinal, las meninges.
 Nota. Fuente: Guyton (2004).

Las áreas de sustancia gris se ubican en el interior de la médula espinal formando las *astas medulares* (con forma de “H” o “mariposa” central) y las comisuras grises. Se distinguen tres tipos de astas medulares: (1) *astas dorsales o posteriores*: constituyen las astas sensitivas, sitio a donde llegan las señales sensitivas de los nervios espinales; se trata de información sensorial que llega del SNP a la médula espinal (SNC); (2) *astas ventrales o anteriores*: conforman las astas motoras, donde se ubican los cuerpos celulares de las neuronas motoras que envían señales a través de los nervios espinales a los músculos para que se contraigan; se trata de información motora que sale de la médula espinal hacia el SNP; (3) *astas laterales*: presentes principalmente en los segmentos torácicos y lumbares superiores de la médula espinal, contienen neuronas que dan origen a fibras del sistema nervioso autónomo (vegetativo), que controla muchos de los órganos internos. Las comisuras grises, por su parte, conectan las astas a nivel central, a modo de puente transversal.

La sustancia blanca en la médula espinal se dispone de forma periférica, rodeando las astas de sustancia gris central. Estas áreas o columnas de sustancia blanca constituyen los *haces asociativos ascendentes y descendentes*, es decir, fibras o

tractos que no solo interconectan los segmentos medulares, sino que también llevan y traen información hacia y desde el encéfalo, permitiendo la integración sensoriomotora en el SNC. En este sentido, mientras los *haces ascendentes espinotalámicos* o *espino-tálamo-corticales* llevan información sensitiva de las extremidades y los órganos internos hacia el encéfalo para su correspondiente procesamiento (principalmente en el cerebro), los *haces descendentes corticoespinales* traen información motora desde el cerebro para el cierre operacional, permitiendo, por ejemplo, la contracción muscular necesaria para mover los brazos, el tronco o las piernas. Debido a esta particularidad anatómica, si la médula espinal fuera lesionada o cortada en un segmento dado, el cerebro no solo dejaría de recibir información de áreas inervadas por ese segmento medular y por los inferiores, sino que además perdería el control sensoriomotor de todas las partes del cuerpo relacionadas con esos segmentos. De allí la existencia de las paraplejas y las cuadriplejas, producto de la incapacidad de regeneración de las fibras del tracto espinal. Investigaciones y tecnologías futuras quizás puedan arrojar mayor luz para resolver estas problemáticas que tanto afectan la vida psicofísica y social de las personas que sufren este tipo de lesiones.

Ahora bien, ¿cómo se conecta la médula espinal (SNC) con los nervios espinales (SNP)? Esta conexión se produce a través de una porción específica de cada nervio espinal: las *raíces nerviosas* (Figura 4). Se distinguen dos tipos de raíces para cada nervio: una *raíz dorsal*, que consta de vías sensitivas que van del cuerpo hacia la médula espinal, y una *raíz ventral*, que consiste en vías motoras que van de la médula espinal hacia los músculos, para provocar la contracción muscular, o hacia los órganos internos, para regular distintas funciones. Como es de esperar, las raíces dorsales se conectan con las astas dorsales sensitivas, en tanto que las raíces ventrales hacen lo propio con las astas ventrales motoras de la médula espinal. Asimismo, en la raíz dorsal de cada nervio espinal se distingue un ensanchamiento particular denominado *ganglio de la raíz dorsal* (Figura 4). Se trata de un abultamiento integrado por los cuerpos celulares de las neuronas sensitivas que traen información desde los receptores sensoriales ubicados en la periferia del cuerpo hacia la médula espinal (nótese que, en la mayoría de los casos, un conjunto de neuronas en el SNP se conoce como *ganglio*, mientras que un conjunto de neuronas en el SNC se denomina *núcleo*). Los cuerpos celulares de las neuronas motoras se encuentran en el interior de la médula espinal, en las astas ventrales motoras.

Profundizando sobre la fisiología medular: el arco reflejo simple

La médula espinal es el asiento del acto motor más elemental del ser humano: el arco reflejo simple de nivel espinal o medular, tal como el reflejo de retirada o el reflejo

rotuliano. Se trata de reflejos innatos, automáticos (como toda respuesta refleja) y estereotipados (el circuito es siempre igual), provocados por determinadas formas de estimulación sensitiva. En el caso del reflejo de retirada, reflejo flexor o reflejo doloroso (Figura 5), una *neurona sensitiva* ubicada en el *ganglio de la raíz dorsal del nervio raquídeo o espinal* se encarga de percibir el estímulo doloroso (por ejemplo, un pinchazo o una quemadura). La información viaja de forma aferente a lo largo del axón hasta el asta dorsal (posterior) sensitiva de la médula espinal, para hacer sinapsis allí con las dendritas de una *neurona asociativa o interneurona* –en algunos reflejos esta interneurona no se halla presente–. Esta interneurona transmite la respuesta a una *neurona motora* ubicada en el asta anterior (ventral) motora, la cual, por medio de su axón, viajando de forma eferente a través del nervio espinal, provocará la contracción muscular mediante un tipo espacial de sinapsis: la *unión o placa neuromuscular*. De este modo, en milésimas de segundos, la médula espinal procesa la información dolorosa y emite una respuesta refleja, automática, para retirar la mano (u otra parte del cuerpo) del estímulo nocivo en cuestión. Además de las conexiones locales que se realizan dentro del segmento de la médula espinal correspondiente a su dermatoma/miotoma, los receptores táctiles y del dolor se comunican con fibras de otros segmentos de la médula espinal y, por lo tanto, pueden desencadenar ajustes apropiados en otras partes del cuerpo. Por ejemplo, cuando se retira una pierna en respuesta a un estímulo doloroso, la otra pierna debe extenderse simultáneamente para soportar el peso del cuerpo, evitando caerse.

Cabe aquí preguntarse, ¿y esta información dolorosa no asciende al encéfalo? Sí, lo hace. Aunque la respuesta motora automática se tramita a nivel medular, la información dolorosa también asciende al encéfalo, más específicamente al cerebro, para ser procesada, tomar una decisión y actuar en consecuencia, pudiendo, por ejemplo, generar acciones para desinfectar la herida o acudir a un médico para una consulta. Sin embargo, la respuesta automática de retirada del estímulo nocivo es estrictamente de nivel medular.

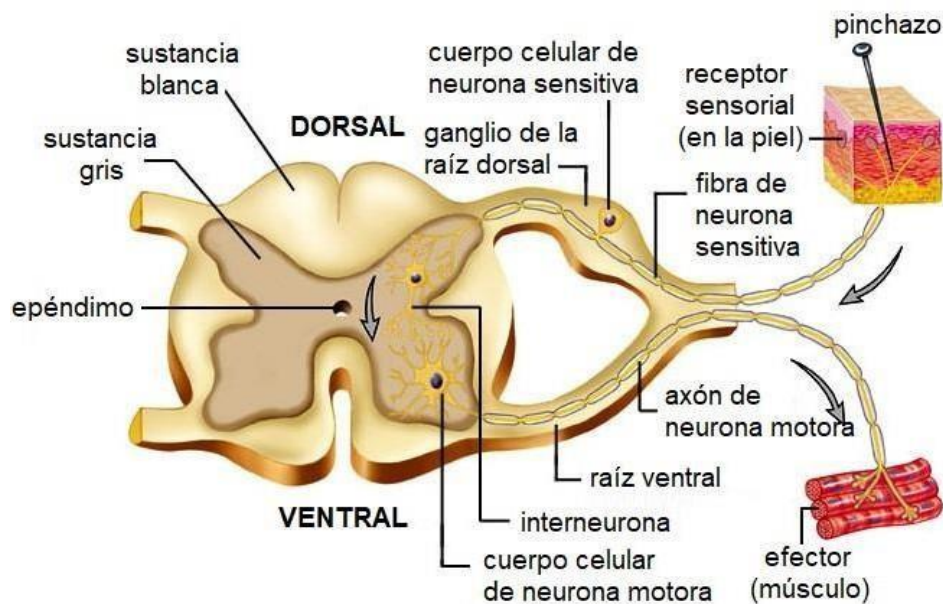


Figura 5. Reflejo doloroso o de retirada (arco reflejo simple medular).
 Nota. Fuente: Seeley et al. (2008)

De todo lo expuesto se desprende que, si bien la médula espinal es la estructura evolutivamente más antigua del SNC, su actividad nerviosa resulta vital para el ser humano, sobre todo si se consideran los segmentos medulares superiores (cervicales) y los nervios raquídeos asociados. A su vez, la médula espinal en el adulto –en gran medida bajo el control cerebral– contribuye a la integración sensoriomotriz del cuerpo humano, posibilitando la existencia de múltiples modalidades de reconocimiento sensorperceptivo, así como el aprendizaje y la ejecución de innumerables habilidades motoras a lo largo de la vida.

Bibliografía

- Gaillard, F. (2024). *Spinal cord segments and nerve roots* [Imagen]. Case study, Radiopaedia.org. <https://doi.org/10.53347/rID-187208>
- Guyton, A. C. (2004). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso* (2ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Kalat, J. W. (2010). *Psicología biológica* (10ª edición). Cengage Learning.
- Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2009). *Neuropsicología humana* (5ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Medline Plus. (2023). Cola de caballo [Imagen]. https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19504.htm
- Pinel, J. P., & Barnes, S. (2017). *Biopsychology* (10ª ed.). New York: Pearson Higher Ed.
- Rosenzweig, M. R., Leiman, A. L., & Breedlove, S. M. (2001). *Psicología biológica. Una introducción a la neurociencia conductual, cognitiva y clínica*. Ariel Neurociencia.
- Seeley, R. R., Stephens, T. D., & Tate, P. (2008). *Anatomy and Physiology* (8ª ed.). McGraw Hill.

Tronco encefálico

Mauro Torales

El tronco encefálico es una estructura del encéfalo integrada por 3 órganos (Bulbo raquídeo o Médula oblonga, Protuberancia anular o Puente de Varolio y Mesencéfalo o Pedúnculos cerebrales), se aloja en la cavidad craneana y se encuentra limitado en su cara inferior por la médula espinal, en su cara superior por el diencefalo y por detrás por el cerebelo, al cual se une a través de los pedúnculos cerebelosos. Al igual que los demás componentes del sistema nervioso central, el tronco encefálico está constituido por sustancia gris y sustancia blanca, destacándose a lo largo de toda su extensión, una compleja red de núcleos y tractos (sustancia gris y blanca respectivamente).

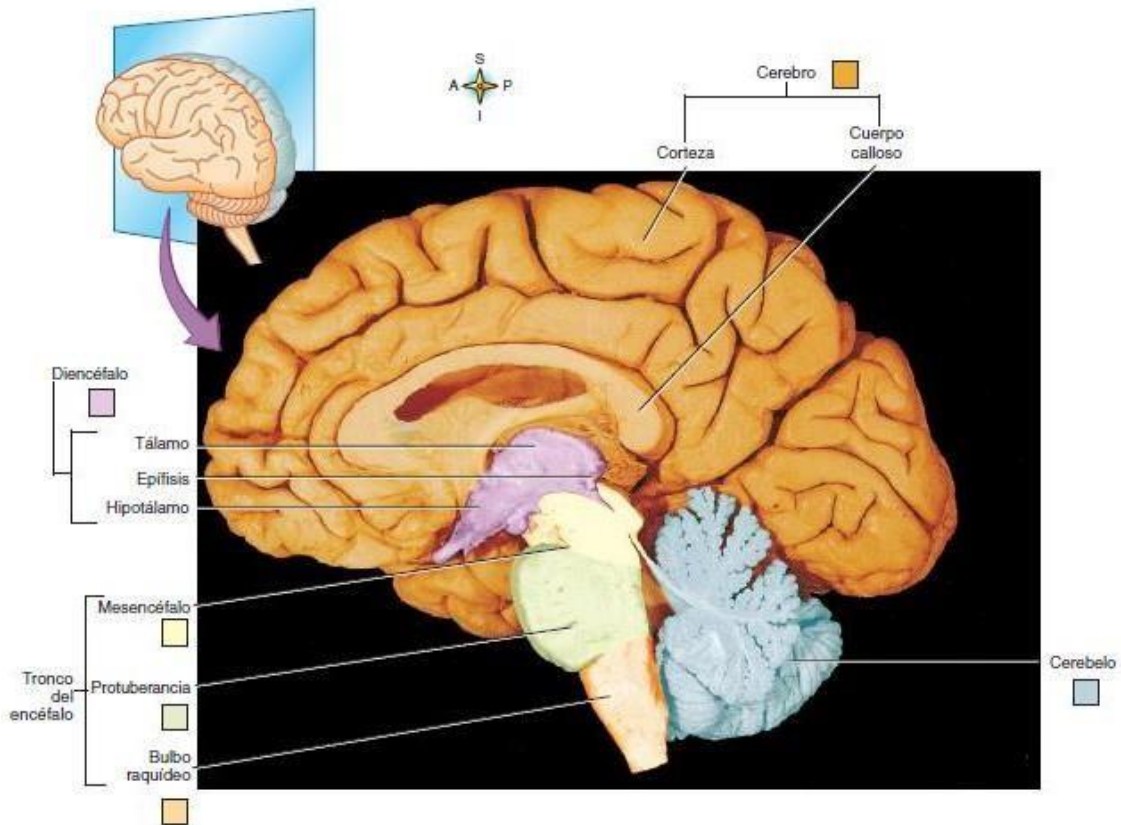


Figura 13-9 Divisiones del encéfalo. Un corte mediosagital del encéfalo revela rasgos de sus principales partes.

Figura 1. Imagen extraída de Thibodeau, G. & Patton, K., 2007, pág. 483. Se muestra un corte sagital de los órganos del encéfalo en donde se observan las tres estructuras del tronco encefálico junto con las estructuras cerebrales y cerebelosas.

Los órganos que lo integran, si bien funcionan como una unidad anatómica, presentan un origen embrionario diferente. Luego de la formación del Tubo neural se esbozan 3 vesículas cefálicas primarias Prosencéfalo, Mesencéfalo y Rombencéfalo (alrededor de las 3 semanas de gestación). El Prosencéfalo y el Rombencéfalo se constriñen y dan origen a las vesículas cefálicas secundarias (alrededor de las 5 semanas de gestación). Las estructuras que constituyen el tronco encefálico derivan de las vesículas cefálicas Mesencéfalo y Rombencéfalo de la siguiente forma (fig. 2).

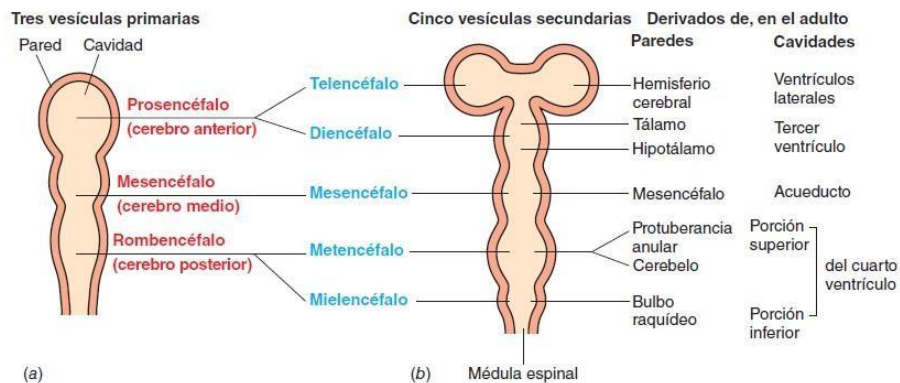


Figura 8-3 Secuencia de desarrollo del encéfalo. a) Durante la cuarta semana, se forman tres regiones principales del encéfalo. b) Durante la quinta semana se desarrollan cinco regiones en el encéfalo y empiezan a formarse estructuras específicas.

Figura 2. Imagen de Fox, I., 2011, pág. 208. Mientras que el Mesencéfalo permanece indiviso, aumenta de tamaño y se diferencia originando el Mesencéfalo propiamente dicho y el Acueducto de Silvio; el Rombencéfalo se divide en el Metencéfalo, que va a originar la Protuberancia anular, el Cerebelo y la parte superior del IV Ventrículo y, el Mielencéfalo que va a originar el Bulbo raquídeo y la parte inferior del IV Ventrículo.

Para facilitar el entendimiento de la anatomía del tronco encefálico, podríamos decir, que esta estructura se constituye como una matriz de sustancia blanca externa en la que se encuentran inmersos núcleos de sustancia gris (en forma de manchas o láminas grises; pero ya no tienen la forma de mariposa típica de la sustancia gris de la médula espinal).

Estos núcleos se diferencian de dos maneras: los núcleos que originan los nervios craneales (que forman parte del SN Periférico) y los núcleos propios del tronco encefálico. Citando algunos ejemplos de núcleos propios del T.E. encontramos que en el mesencéfalo se encuentra la Sustancia negra o Locus niger (núcleo dopaminérgico), en la protuberancia anular el núcleo azul o locus coeruleus (núcleo noradrenérgico) y en el bulbo raquídeo los núcleos del centro vital respiratorio y cardíaco. También encontramos núcleos a todo lo largo de toda la extensión del tronco encefálico, los núcleos de la formación reticular que constituyen una compleja red de neuronas interconectadas por fibras de sustancia blanca que, entre otras funciones, actuarían

como el “interruptor” de la corteza cerebral (conciencia), y que explicaremos más adelante.

Debido a su ubicación y a sus características anatómicas no es difícil reconocer que la principal función del tronco sea la de comunicar la médula espinal con las estructuras superiores del encéfalo (y viceversa), conectando a la corteza cerebral y al diencefalo con la médula espinal, o haciendo de nexo entre el cerebelo y la corteza, o entre el cerebelo y la médula.

Otras características anatómicas destacables son: a) la decusación (cruce) de los tractos motores (piramidales) y la decusación de los tractos sensitivos (lemniscos). Estos cruces totales hacen que el hemisferio derecho maneje la sensación y la motilidad de la parte izquierda del cuerpo y viceversa; b) el asiento anatómico de los núcleos de 10 pares de nervios craneales (III al XII); c) el relevo de vías sensitivas y d) el origen de los sistemas moduladores difusos. Entre otras de sus funciones generales se destacan: el control de las funciones vegetativas de la respiración, la circulación, el tono muscular, el equilibrio, el estornudo, el vómito o la deglución, y los movimientos de los músculos de la mímica o los reflejos de orientación (fig. 3).

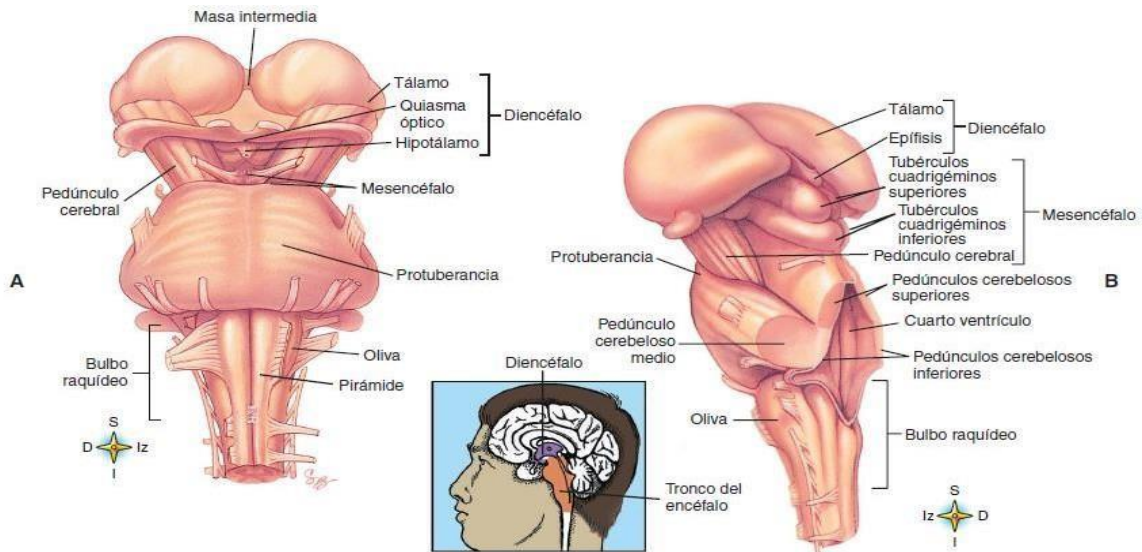


Figura 13-10 El tronco del encéfalo y el diencefalo. A, Cara anterior, B, Cara posterior (ligeramente desplazada a un lado).

Figura 3. Imagen extraída de Thibodeau, G., & Patton, K., 2007, pág. 484.

Mesencéfalo

Es una estructura que se extiende desde el diencefalo (en su límite superior), hacia la protuberancia anular (en su límite inferior). Está atravesado por el Acueducto de Silvio, donde circula el Líquido Cefalorraquídeo, que comunica el Tercer y el Cuarto ventrículo.

Anatómicamente se reconocen dos caras, una anterior y una posterior. En su cara anterior se destacan los Pedúnculos Cerebrales (80% del mesencéfalo), dos grandes

columnas que bifurcan hacia adelante y hacia arriba, en forma de “V”, y en su cara posterior o Tegmento (20% del mesencéfalo) se encuentran 4 protuberancias los tubérculos cuadrigéminos, constituidos por dos colículos superiores y dos colículos inferiores.

En la porción superficial de los pedúnculos circulan axones de neuronas motoras cortico-pónticas, córtico-bulbares y córtico-espinales (que transmiten respuestas motoras desde la corteza cerebral hacia la protuberancia anular, el bulbo raquídeo y la médula espinal respectivamente). Mas internamente se encuentra sustancia gris agrupada en distintos núcleos (fig. 4): a) La Sustancia Negra o Nigra, constituida por neuronas dopaminérgicas cuyos axones se proyectan hacia los ganglios basales y ayudan a coordinar movimientos estereotipados e involuntarios (su daño o pérdida se asocia a la enfermedad del Parkinson); b) el núcleo Rojo que actúa junto a la corteza cerebral y el cerebelo en la coordinación de movimientos corporales; c) los núcleos de los nervios oculomotor (III par craneal) y patético (IV par craneal) encargados de los movimientos oculares, y d) la sustancia gris periacueductal cuya función está muy asociada al análisis de la respuesta al dolor. Además de estos núcleos de sustancia gris interna se encuentran tractos (sustancia blanca) sensitivos ascendentes que transmiten señales somato-sensitivas del cuerpo hacia el tálamo (los Lemniscos medios) y tractos que comunican núcleos del tronco encefálicos entre sí y con el diencefalo (el Fascículo longitudinal medio).

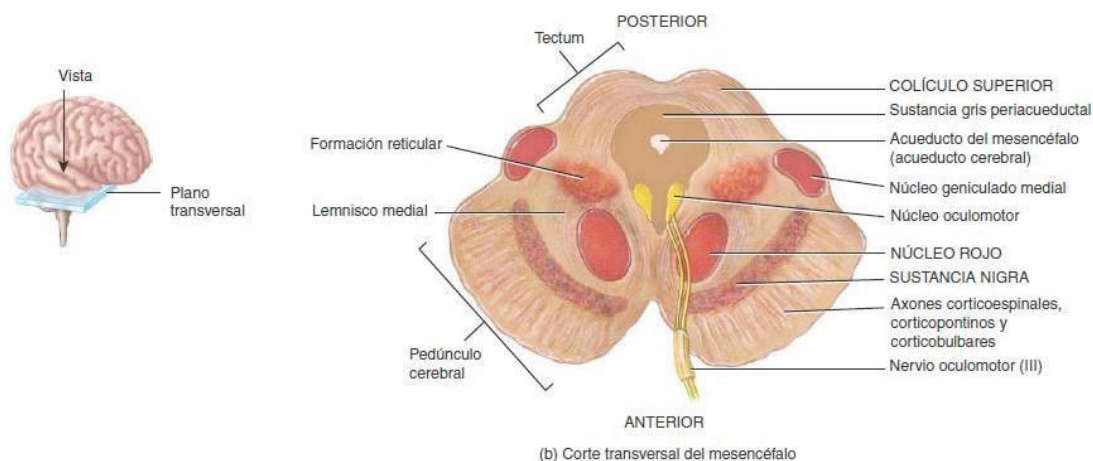


Figura 4. Tortora, 2011, pág. 488. Corte transversal del mesencéfalo que muestra sus núcleos principales.

Puente de Varolio o Protuberancia Anular

El puente de Varolio se ubica entre el mesencéfalo y el bulbo raquídeo, por detrás se encuentra el cerebelo y entre estos, la porción superior del Cuarto Ventrículo. Presenta la forma de una estructura rectangular arqueada, de ahí su designación

como “puente o pontino”. Recibe información de uno y otro lado del cerebelo y también información que va desde la médula, hacia el mesencéfalo. Al igual que este último, es atravesado por fibras cortico-espinales y córtico-bulbares, pero las córtico-pontinas terminan aquí su recorrido haciendo sinapsis con los núcleos pontinos que envían sus fibras transversas hacia el lado opuesto de la protuberancia y se orientan hacia atrás (hacia el cerebelo) constituyendo los denominados pedúnculos cerebelosos medios, es decir, decusan y se orientan hacia el lado opuesto del cerebelo.

Como también ocurre en el mesencéfalo, el Puente de Varolio es atravesado por los lemniscos medios y longitudinales mediales (tractos ascendentes o sensitivos) y por la formación reticular. Pero presenta núcleos propios, como los del origen de los pares de nervios craneales: a) Trigémino (V par) un nervio mixto que controla los músculos de la masticación (función motora) y la sensibilidad del rostro, boca y cuero cabelludo; b) Abducens o motor ocular externo (VI par) que controla movimientos oculares; c) Facial (VII par) que controla músculos de la cara y; d) Vestíbulo-coclear (VIII par) responsable del equilibrio y la función auditiva. Y participa junto al bulbo raquídeo en el control de los nervios motores implicados en la respiración (fig. 5).

Se destaca como un núcleo propio de la protuberancia, en la parte interna de su cara posterior, el Locus coeruleus (Núcleo Azul) cuyas neuronas envían noradrenalina a casi todas las regiones del SNC (en forma ascendente y descendente) y que está asociado a las regulaciones del ciclo de sueño-vigilia, atención y aprendizaje, como se explica más adelante al hablar de la formación reticular.

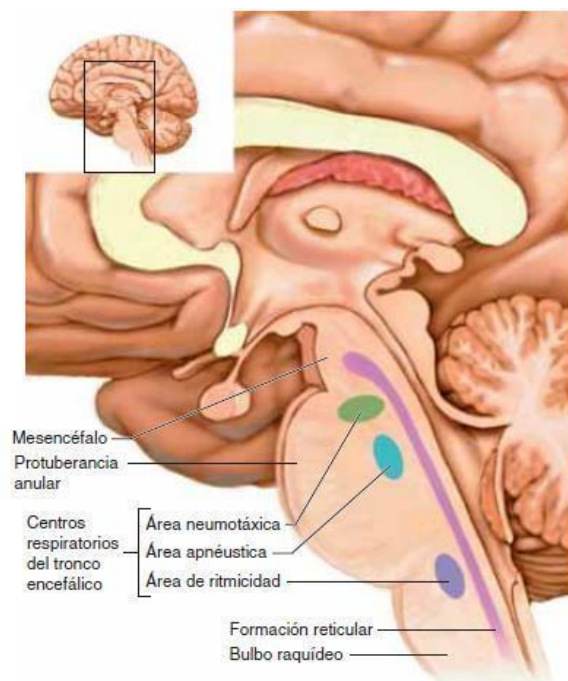


Figura 5. Fox, I., 2011. Se muestra el puente de Varolio y su relación anátomo-funcional con el bulbo raquídeo y el mesencéfalo.

Bulbo Raquídeo

El bulbo raquídeo o médula oblonga se encuentra entre el puente de Varolio y la médula espinal, por detrás se encuentra el cerebelo y, entre éstos, la porción inferior del cuarto ventrículo. La sustancia blanca está constituida por tractos sensitivos y motores, y la sustancia gris, por núcleos de origen de algunos nervios craneales y por núcleos propios del bulbo (fig. 6).

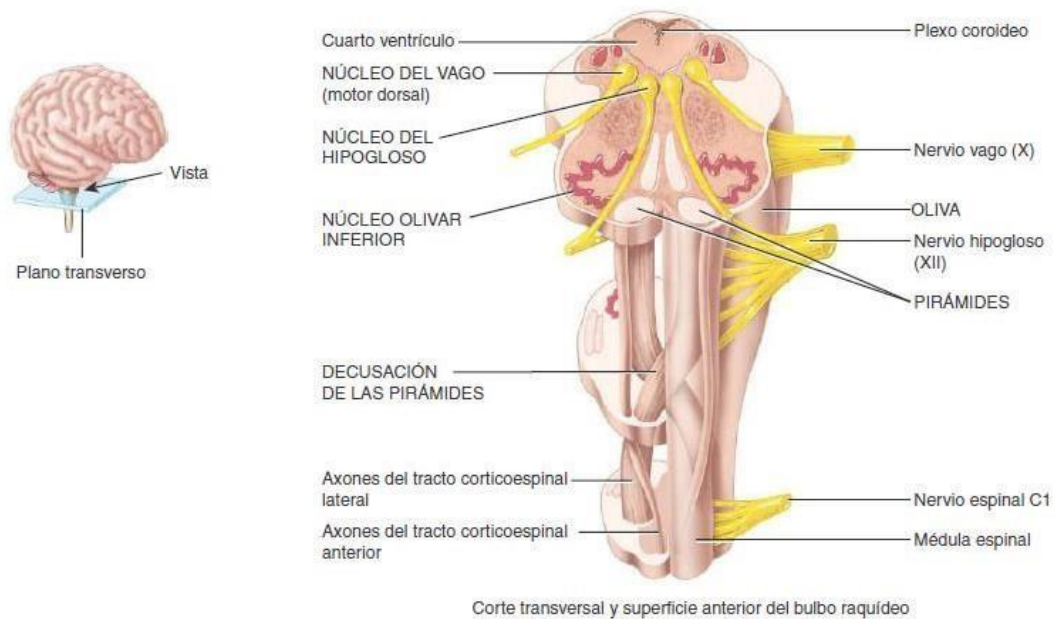


Figura 6. Extraído de Tortora, G., Derrickson, B., 2011, pág. 537.

En su cara anterior se destaca un abultamiento producido por sustancia blanca que recibe el nombre de Pirámides (justamente por estar constituido por los tractos motores de las neuronas piramidales que descienden desde la corteza cerebral). A la altura donde el bulbo se une a la médula, se produce la denominada Decusación Piramidal en donde el 90% de las fibras piramidales de un hemisferio cerebral se cruzan hacia el lado opuesto, controlando los músculos de ese lado del cuerpo. Por encima y lateral a las pirámides, se observan dos estructuras denominadas Olivas Bulbares que contienen en su interior los núcleos olivares inferiores, estas neuronas relevan impulsos desde propioceptores que monitorizan la posición de los músculos y las articulaciones, y la reenvían hacia el cerebelo a través de los pedúnculos cerebelosos inferiores. Gracias a esta conexión con el cerebelo, es posible que, por ejemplo, sepamos la posición de las piernas mientras estamos sentados aun sin mirarlas.

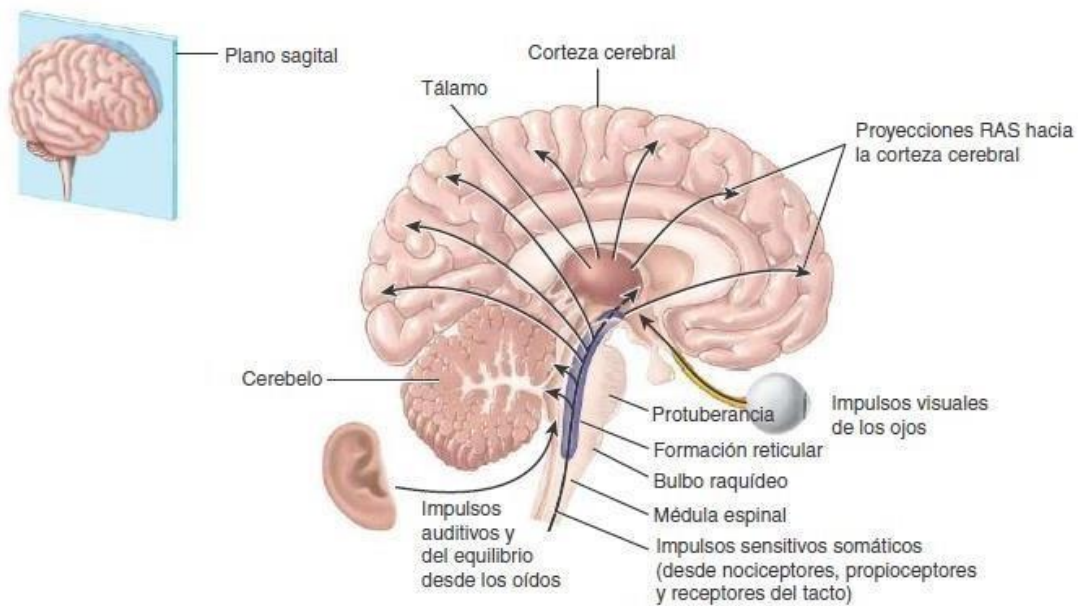
En la cara posterior del bulbo se encuentran otros núcleos de importancia, como el Núcleo Gracilis y el Cuneiforme, que relevan información sensitiva que proviene de la

médula y la reenvían al tálamo pero decusando sus fibras (al igual que con las pirámides, pero en este caso llevando información sensitiva o ascendente), constituyendo luego de la decusación, una banda de sustancia blanca denominada Lemnisco Medial que atraviesa todo el T.E. Por último podemos encontrar los núcleos de origen de los nervios craneales VIII, IX, X, XI y XII.

Algunas áreas especiales de la formación reticular en el bulbo (y también en la protuberancia anular), contienen núcleos que controlan funciones reflejas vitales como el ritmo e intensidad de los latidos cardíacos y el diámetro de los vasos sanguíneos (Centro cardiovascular o vasomotor). También encontramos el centro de control del ritmo respiratorio (Centro de ritmicidad bulbar) que coordina las contracciones de los músculos de la respiración. Otros núcleos controlan los reflejos del vómito, tos, deglución, hipo y estornudo (funciones reflejas no vitales).

Formación reticular

Una mención especial recibe la denominada Formación Reticular (fig. 7), una compleja red de núcleos y tractos (sensitivos y motores) que se extienden desde la porción superior de la médula espinal (en su proximidad al bulbo raquídeo), hacia la porción inferior del diencéfalo (en la base del tálamo). Atraviesa íntegramente la extensión del Tronco Encefálico. A la parte de la Formación reticular que presenta núcleos y tractos sensitivos se la denomina **Sistema Activador Reticular Ascendente** o **SARA**, los cuales se proyectan hacia la corteza cerebral (de manera directa o relevando previamente en el tálamo), y cuya función principal está relacionada con el mantenimiento de la conciencia y el estado de vigilia. Se activa debido a algún estímulo sonoro, lumínico, doloroso o aquellos que informan la posición del cuerpo. Otra función relacionada con el SARA está asociada a la atención, participando como filtro de aquellos estímulos que no son relevantes para las tareas que se están realizando en algún momento dado. Por lo tanto el **SARA** está encargado del estado de vigilia (cuando se activa nos despertamos y cuando no se inactiva nos dormimos), y es el encargado de generar el estado general de conciencia. En relación a la función motora de la formación reticular, destaca la regulación del tono muscular, es decir, el leve grado de contracción muscular de los músculos en reposo. Vale decir que alguna afección, alteración, patología o destrucción del SARA podría inducir a un coma del cual nunca despertaríamos.



(c) Corte sagital a través del encéfalo y de la médula espinal que muestra la formación reticular

Figura 7. Tortora, 2011, pág. 540.

Sistemas moduladores difusos

Para finalizar, otra de las características del tronco encefálico es que presenta un conjunto de **núcleos** cuyos axones no siguen una vía específica y proyectan a diferentes partes del encéfalo (hipotálamo, corteza cerebral y médula espinal) por lo tanto modulan la actividad neuronal de grandes áreas cerebrales. Constituyen los denominados **Sistemas Moduladores Difusos (SMD)**. Como generalidades podemos reconocer las siguientes características:

- Conjunto de Neuronas (cuerpos neuronales o núcleos) especializadas que regulan distintas funciones encefálicas: atención, motivación, vigilia/sueño, memoria, control motor, estado de ánimo.

- Estas neuronas se originan en lugares puntuales del **Tronco Encefálico** y **proyectan** sus axones hacia otras áreas importantes y destacadas del Encéfalo y la Médula Espinal.

- Cada sistema modulador difuso utiliza **un neurotransmisor específico**.

- Los NT son liberados al espacio extracelular y pueden alcanzar neuronas **lejanas** que contengan **receptores** específicos (no se limitan a la hendidura).

- Cada neurona influye sobre la función de, al menos, 100.000 neuronas **diseminadas** por todo el SNC.

- Numerosas **drogas** psicoactivas afectan estos sistemas moduladores.

El siguiente cuadro resume los principales sistemas moduladores. (Fuente: https://static.docsity.com/documents_first_pages/2023/11/11/d9c26c69339936c8e8904657e6a1fce5.png).

Sistemas Moduladores Difusos

SMD	Ubicación y grupos neuronales involucrados	Neurotransmisor	Estructuras involucradas	Acciones en las que intervienen	Fármacos que lo alteran
Serotoninérgico	Núcleo de rafe en el tronco del encéfalo	Serotonina	Lóbulo frontal, ganglios basales, Lóbulo temporal, hipotálamo tálamo y médula espinal.	Regula el sueño y aspectos relacionados a la memoria y el aprendizaje. Además, participa en el control del humor y en determinados tipos de conducta emocional.	Antidepresivos (ISRS, IMAO, tricíclicos), alucinógenos (LSD, psilocibina), MDMA, antipsicóticos, analgésicos
Noradrenérgico	Locus cerúleo o Coeruleus en el mesencéfalo.	Noradrenalina y Adrenalina	Corteza, hipocampo, amígdala, tálamo, hipotálamo, cerebelo, médula espinal	Interviene en os ciclos de sueño y vigilia, el humor, la ansiedad, el dolor, la memoria, el aprendizaje y la atención	Antidepresivos (ISRS, IMAO, tricíclicos, SNRI), estimulantes (cafeína, efedrina), bloqueadores alfa y beta, clonidina
Dopaminérgico	Sustancia Negra y Área Tegmental Ventral en el mesencéfalo	Dopamina	Lóbulo Frontal y Núcleo estriado.	Participa en la motivación, el sistema de recompensas, el placer, la función motora fina y la adicción.	Estimulantes (cocaína, anfetaminas, nicotina), antiparkinsonianos (levodopa, agonistas dopaminérgicos), antipsicóticos, inhibidores de la recaptación de dopamina
Colinérgico	Complejo del Prosencéfalo Basal y Complejo Colinérgico Ponto-Mesencéfalo-Tegmental en el tronco del encéfalo	Acetilcolina	Corteza, tálamo, hipocampo	Motivación, percepción y funciones motoras. Aprendizaje y Memoria. Ciclo sueño/vigilia	Inhibidores de la acetilcolinesterasa (neostigmina, fisostigmina), agonistas colinérgicos (pilocarpina, nicotina), antagonistas colinérgicos (atropina, escopolamina, curare)

Bibliografía

- Guyton, A. C. (1978). Anatomía y fisiología del sistema nervioso. 2ª ed. 4ª reimp. Médica Panamericana.
- Fox, I. S. (2013). *Fisiología Humana*. 13ª ed. Buenos Aires. Argentina. McGraw-Hill Companies, Inc.
- Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M., & Watson, N. V. (2005). *Psicobiología: una introducción a la neurociencia conductual, cognitiva y clínica*. Grupo Planeta (GBS).
- Thibodeau, G. A. P., Thibodeau, K. T. G. A., & Patton, K. T. (1995). *Anatomía y fisiología*. Mosby-Doyma Libros.
- Thibodeau, G y Patton, K. (2007) Anatomía y fisiología. Siempre Medicina (8va Edición) Barcelona, España. Editorial Elsevier.
- Tortora, G. J., Grabowski, S. R., Werneck, A. L., Esbérard, C. A., & Passos, M. A. F. (2011). *Principios de anatomía y fisiología* (Vol. 7). Oxford University Press.

Cerebelo

María Laura Ferrer

El cerebelo es una de las estructuras que conforman al encéfalo, junto con el cerebro y el tronco o tallo encefálico. Es la segunda porción más grande. Como se muestra en la Figura 1, el cerebelo se encuentra ubicado en el encéfalo posterior, por detrás del tallo encefálico y por debajo del lóbulo occipital. Entre el tronco encefálico y el cerebelo podemos observar el cuarto ventrículo, una de las cavidades por la cual circula el líquido cefalorraquídeo (LCR). El cerebelo está separado del cerebro por un surco profundo, la cisura o fisura transversa y por el tentorio o tienda del cerebelo (Figura 2) que es una prolongación de la dura madre, la meninge más externa.

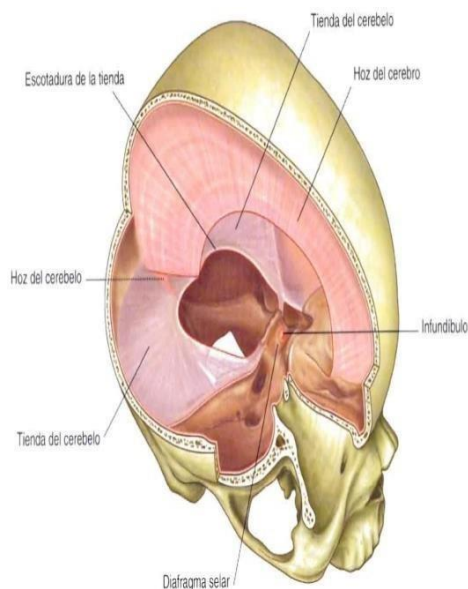
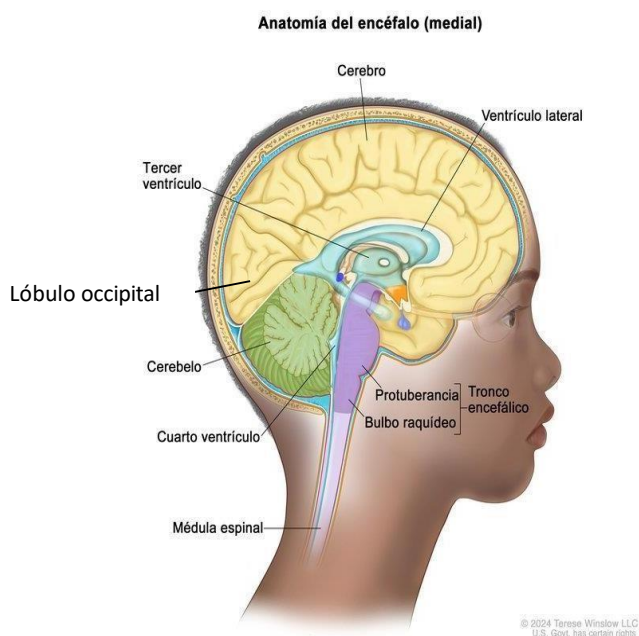


Figura 1. Ubicación del cerebelo. Fuente:

<https://visualsonline.cancer.gov/details.cfm?imageid=9616>

(Recuperada 25/09/2024). Imagen modificada.

Figura 2. Tienda del cerebelo. Fuente:

<https://quizlet.com/do/214314188/anatomia-moore-cabeza-la-duramadre-flash-cards/>

(Recuperada el 25/09/2024)

Si observamos la estructura externa o cara superior del cerebelo podemos mencionar algunas semejanzas con el cerebro, por ejemplo, existen numerosos **pliegues** que, al ser más delgados y al estar más juntos que los del cerebro, se los denomina **folias**. Además, como se representa en la Figura 3, el cerebelo se caracteriza por tener dos hemisferios cerebelosos, así como el cerebro tiene dos hemisferios cerebrales. En el cerebelo los hemisferios están separados por una parte central llamada **vermis**, la cual coordina los movimientos involuntarios del cuerpo asociados al tronco encefálico y médula espinal, mientras que los **hemisferios** coordinan los movimientos voluntarios asociados con la corteza cerebral.



Figura 3. Cara superior del cerebelo. Fuente: Acosta Rosas et al. (2018)

Con respecto a la estructura interna del cerebelo podemos observar que la sustancia gris y la sustancia blanca no se distribuyen como en la médula espinal o en el tronco encefálico. Su distribución es más parecida a la del cerebro donde la sustancia gris forma la parte externa o **corteza cerebelosa** y la sustancia blanca forma la parte interna (figura 4) en la que se encuentran incrustados, o inmersos, núcleos de sustancia gris. Estos núcleos son, el núcleo el dentado, el núcleo fastigial, el núcleo emboliforme y el núcleo globoso (figura 5). El núcleo fastigial se relaciona con control antigravitatorio, la postura y el equilibrio. Los núcleos globoso, emboliforme y dentado, reciben información de distintas áreas motoras para la coordinación del inicio de los movimientos voluntarios y la destreza fina.

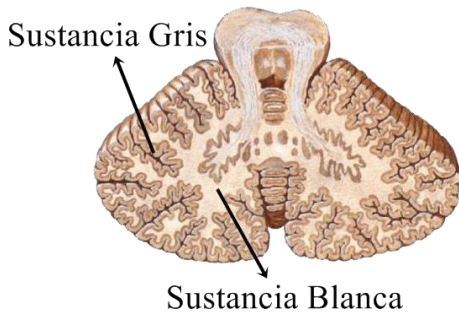


Figura 4. Distribución de la sustancia blanca y gris en el cerebelo. Fuente: <https://www.biopsicosalud.com.ve/2021/01/cerebelo.html>

(Recuperada 26/09/2024)

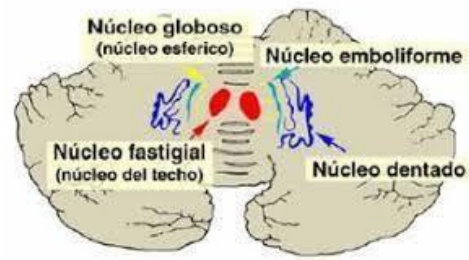


Figura 5. Núcleos cerebelosos. Fuente: http://www.neurocirugiacontemporanea.com/doku.php?id=nucleo_de

(Recuperada 26/09/2024)

En la corteza del cerebelo se pueden distinguir tres capas celulares: la capa molecular, la capa de Purkinje y la capa granulosa (figura 6). En las células Purkinje se observa que desde la parte inferior del soma se origina el axón, que se mieliniza, atraviesa la capa granular e ingresa en los núcleos cerebelosos; y de la parte superior del cuerpo neuronal parte un grueso tronco que se va ramificando formando un denso árbol dendrítico característico de estas neuronas.

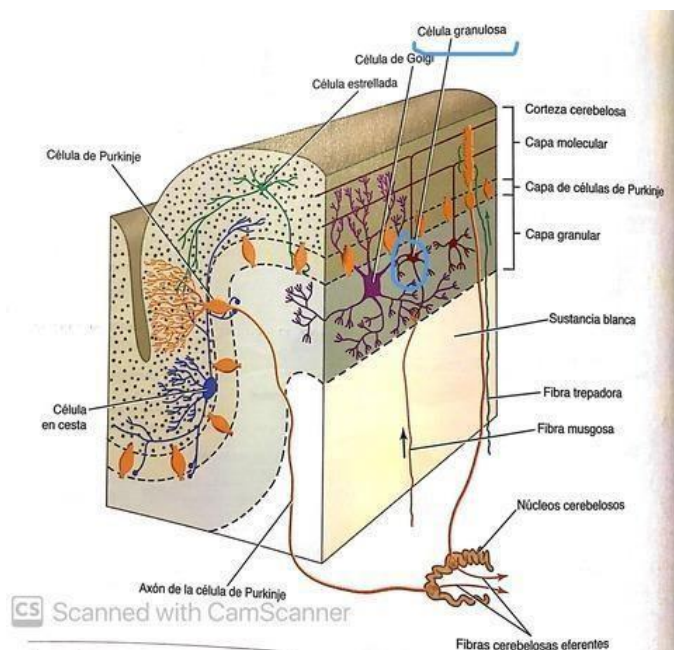


Figura 6. Capas celulares de la corteza cerebelosa. Fuente: <https://quizlet.com/mx/550838003/cerebelo-flash-cards/> (Recuperada 26/09/2024)

El cerebelo se conecta con otras áreas del SNC. Estas conexiones neuronales pueden ser por vías aferentes, es decir, que traen la información de otras partes del SNC al cerebelo, o por vías eferentes, es decir, que transmiten la información procesada desde el cerebelo a otras partes del SNC. Las señales se transmiten por tractos largos, a través de los tres pares de pedúnculos cerebelosos (Figura 7). El Pedúnculo cerebeloso inferior se comunica con el bulbo raquídeo y médula espinal; el medio se comunica con la protuberancia y el pedúnculo cerebeloso superior se comunica con el mesencéfalo.

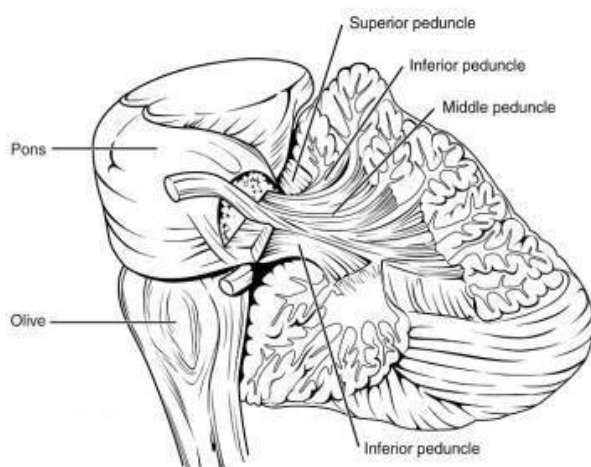


Figura 7. Pedúnculos cerebelosos. Fuente: <https://psicologiaymente.com/neurociencias/pedunculos-cerebrales> (Recuperada 26/09/2024)

Funciones del cerebelo

Desde el punto de vista motor el cerebelo procesa información de las distintas áreas motoras del encéfalo para comparar el movimiento pretendido con el real, determinando la secuencia adecuada de las distintas contracciones musculares, manteniendo el equilibrio, regulando los reflejos posturales, controlando la marcha y la postura.

Funcionalmente podemos dividir al cerebelo en tres zonas:

1. Vestíbuloocerebelosa: recibe información del oído interno y de la corteza visual. Su función es controlar y regular el equilibrio y el movimiento de los ojos.
2. Espinocerebelosa: recibe información desde la médula espinal con el objetivo de controlar los movimientos de la cabeza, cuello, tronco y extremidades.
3. Cerebrocerebelosa: recibe información de la corteza cerebral para coordinar, regular y planificar los movimientos voluntarios complejos.

Patologías

Las lesiones a nivel del cerebelo no suelen causar parálisis, pero sí desórdenes relacionados con la ejecución y coordinación de movimientos precisos, mantenimiento del equilibrio, la postura y aprendizaje motor.

Algunas de ellas pueden ser:

Ataxia. Falta de coordinación de los movimientos.

Disartria. Dificultad en el habla, por falta de coordinación en los músculos de la articulación de las palabras.

Hipotonía. Por alteración en la regulación del tono muscular.

Bibliografía

Acosta Rosa, L., Nieto Taborda, K., Gonzales Ramirez, A., Ovalle Daza, L., Mora Salazar, J., Tramontini Jens, C. (2018). Anatomía del cerebelo en imágenes de resonancia magnética cerebral con correlación funcional. *Revista médica Sanitas*, 29,135-140. Recuperado de

<https://revistas.unisanitas.edu.co/index.php/rms/article/view/367>

Guyton, A. C. (2004). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso* (2ª ed.). Editorial Médica Panamericana.

Thobodeau, G y Patton, K. (2007) *Anatomía y fisiología. Siempre Medicina* (8va Edición) Barcelona, España. Editorial Elsevier.

Tortora, G. (2002) *Principios de anatomía y fisiología*. Editorial panamericana.

Rosenzweig, M.R.,Leiman ,A.L., & Breedlove, S.M (2001). *Psicología biológica. Una introducción a la neurociencia conductual, cognitiva y clínica*. Ariel Neurociencia.

Diencefalo

Sabrina Cavallaro

El diencefalo, junto con el telencefalo, conforma lo que denominamos cerebro. El diencefalo es una compleja estructura ubicada entre el telencefalo (hacia arriba) y el mesencefalo, que es un sector del tronco encefalico (hacia abajo) –ver Figura 1. A pesar de esta delimitación, si pensamos en la anatomía de este sector del encéfalo, se halla tan fusionado con las porciones basales del cerebro que muchas veces se dificulta la demarcación de sus límites. (Guyton, 1994).

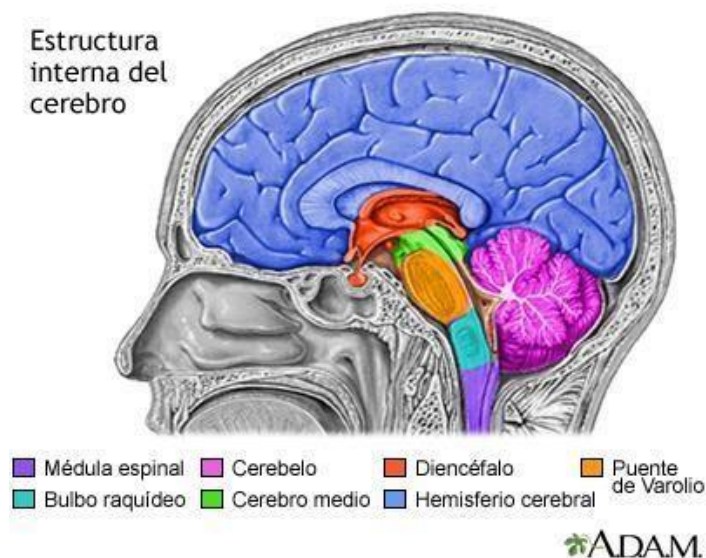


Figura 1. Estructura interna del cerebro. Fuente: MedlinePlus (2024)

Ventrículos encefálicos

Cuando hablamos de diencefalo nos referimos a una compleja estructura conformada por cuatro componentes. Estos componentes o elementos bordean lo que se denomina el tercer ventrículo.

Antes de mencionar los cuatro componentes que conforman el diencefalo, es importante reconocer la importancia de los ventrículos dentro del Sistema Nervioso Central. Por tal motivo se hará una breve referencia a éstos (Ver también el Capítulo “Estructuras protectoras del SNC”).

Tal como muestran las Figuras 2 y 3, el encéfalo tiene cuatro cavidades por las que circula el líquido cefalorraquídeo (LCR). Este líquido es de vital importancia dado que rodea todo el sistema nervioso central y tiene importantes funciones, sobre todo de protección y nutrición.

Existen dos ventrículos laterales (o *primer* y *segundo* ventrículos), pertenecientes a

cada uno de los hemisferios cerebrales y ubicados en el Telencéfalo. El *tercer* ventrículo se encuentra rodeado por las estructuras que forman parte del diencefalo. Existe, por último, un *cuarto* ventrículo, el cual se haya ubicado entre el tronco encefálico y el cerebelo. (Rains, 2003)- (Ver figuras 2 y 3).

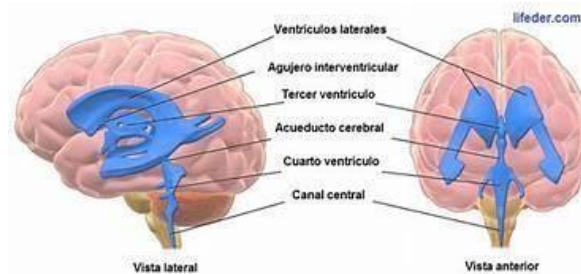


Figura 2. Imagen de los ventrículos rodeando el Sistema Nervioso Central, a través de diferentes vistas.
Fuente: Edu.Lat (2020)

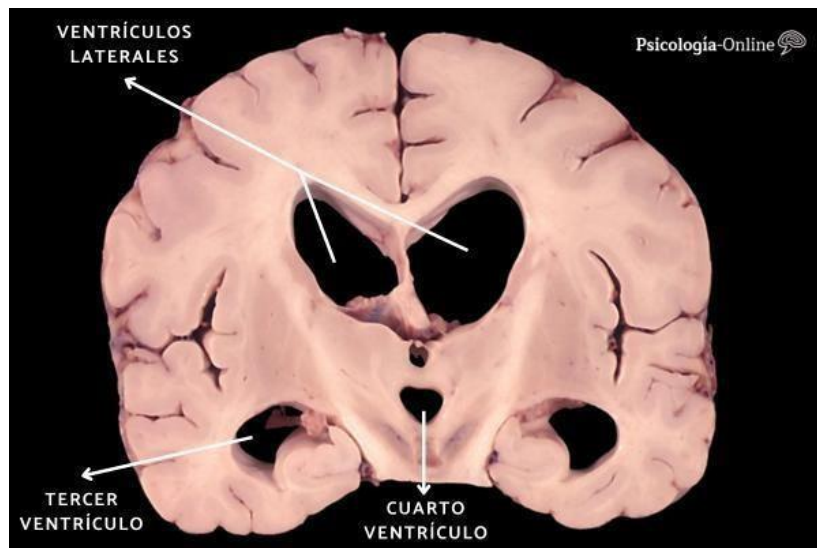


Figura 3. Imagen de los cuatro ventrículos cerebrales en un corte coronal.
Fuente: Mingrone (2023)

Elementos que componen el diencefalo

El diencefalo está conformado por cuatro componentes. Estos son: tálamo, hipotálamo, subtálamo y epitálamo, representados en la Figura 4. A continuación describiremos brevemente las funciones y ubicación de cada uno de ellos.

Lo primero que tenemos que mencionar es que las estructuras del diencefalo son pares. Esto quiere decir que son estructuras que se encuentran ubicadas en ambos hemisferios, tanto derecho como izquierdo. Solamente la glándula pineal, que forma parte del epitálamo, es una estructura única y tiene una ubicación interhemisférica.

Tálamo

El tálamo (también llamado tálamo óptico) es un par de centros sensitivos

constituidos en su mayoría por núcleos de sustancia gris. Sus dos partes o ambos tálamos (el derecho y el izquierdo) están atravesados por el tercer ventrículo y se comunican entre sí a través de la comisura gris intertalámica que atraviesa el tercer ventrículo.

El tálamo es una zona que recibe información de todas las áreas sensitivas, a excepción del olfato. Esto se debe a que, ontogenéticamente hablando, la zona olfativa se origina antes que el diencefalo.

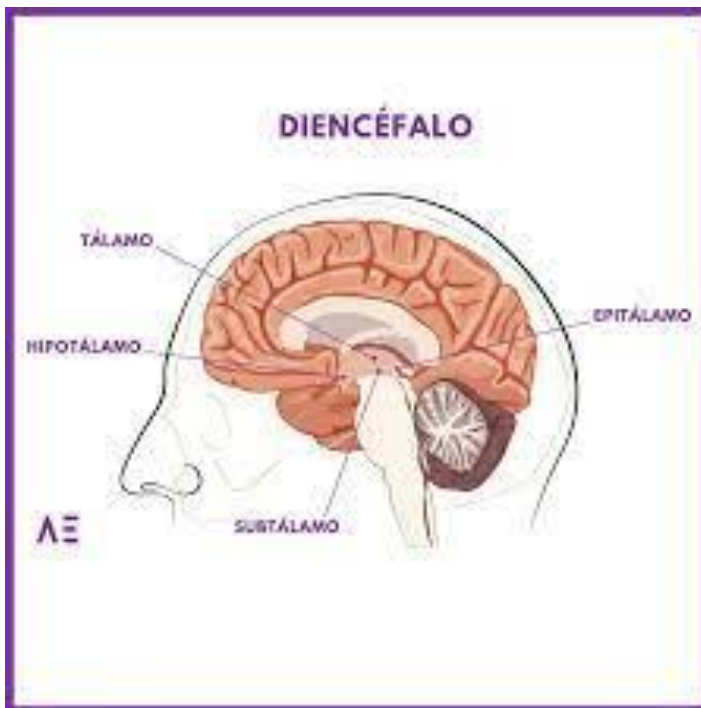


Figura 4: El diencefalo y sus cuatro componentes: Tálamo, hipotálamo, epitálamo y subtálamo. Fuente: <https://asociacioneducar.com/blog/diencefalo/> (Recuperado el 29/11/24)

El tálamo actúa como un **centro de relevo**, transmitiendo información sensitiva (táctil, auditiva, visual y gustativa) hacia diversas áreas del sistema nervioso, como la corteza cerebral y el sistema límbico, entre otras. Sin embargo, su función no se limita únicamente a este papel. Durante la transmisión, también realiza un **procesamiento** significativo de la información, lo que le permite resolver ciertos estímulos y emitir respuestas de manera autónoma, sin necesidad de involucrar a la corteza. Esto alivia considerablemente la carga de trabajo de esta última.

El tálamo recibe información sensorial (cruzada, debido a la decusación de los lemniscos) proveniente de diversas regiones del sistema nervioso, como la médula espinal y otras vías sensoriales ascendentes. Esta información se procesa en los núcleos talámicos, donde ocurre una sinapsis antes de ser transmitida a la corteza cerebral para su interpretación.

Existe entre el tálamo y la corteza una comunicación bidireccional, en tanto ésta

última, también por conexiones sinápticas, envía información a los centros sensoriales inferiores, pasando primero por el tálamo.

Por todo esto podríamos decir que el tálamo es una de las estructuras principales de **relevo** de información que dirige señales sensitivas desde los centros inferiores hasta la corteza cerebral y viceversa (Guyton, 1994).

También está involucrada en funciones cognitivas, incluso en el lenguaje y la memoria. (Rains, 2003), y a él se asocian funciones en relación a la emoción. Este no sólo está conectado con circuitos que llevan información sensorial, sino que también interactúa con vías neuronales que participan en estados emocionales, como por ejemplo el estrés. No en vano el tálamo forma parte del sistema límbico (Ver Capítulo “Sistema Límbico”).

Así pues, el tálamo integra estas dos vías: la emocional y la sensorial. Trabaja juntando estos dos tipos de información, permitiendo que las emociones afecten a lo percibido y que lo percibido sea procesado emocionalmente. Además, envía información al hipotálamo, que controla la respuesta hormonal; con lo cual ésta puede verse afectada por factores emocionales.

Hipotálamo

Se encuentra ubicado en el centro de la base del encéfalo, justo por delante y por debajo del tálamo. De la misma manera, el hipotálamo es una estructura par encontrada en ambos hemisferios. A pesar de ser pequeño, tiene gran importancia ya que es un componente central del diencéfalo que controla funciones vegetativas, es el principal centro neuroregulador controlando al sistema endócrino, siendo de esta manera fundamental para llevar a cabo procesos vitales.

El hipotálamo tiene una estrecha relación con el sistema límbico, por lo tanto, se lo asocia con procesos emocionales y motivacionales. Esta estructura se comunica con otras estructuras como, por ejemplo, la corteza prefrontal, la corteza límbica a través del hipocampo y el fórnix, la amígdala, la formación reticular y el tálamo.

Una de las importantes funciones del hipotálamo es el control de la temperatura corporal. También mantiene la homeostasis de todo el organismo que es ese estado biológico de regulación interna. Sus diferentes núcleos controlan el hambre, la saciedad, la sed, el instinto sexual, la formación de orina entre otros estados fisiológicos. Es decir, está ligado a funciones vitales de supervivencia del individuo y también de la especie. Por todo esto, el hipotálamo tiene gran influencia sobre la conducta y el estado fisiológico en tanto recibe estimulaciones desde centros corticales inferiores y superiores, enviando estimulaciones hacia centros inferiores y superiores.

Es el mayor centro regulador del sistema nervioso autónomo. Regula la función endócrina (como mencionamos más arriba) al controlar la liberación de hormonas por parte de la hipófisis anterior, que es la principal glándula que “gerencia” al sistema endócrino, ya que secreta un gran número de hormonas que influyen sobre diversos procesos corporales (crecimiento, lactancia) y sobre muchas otras glándulas endócrinas. Además de esto, el hipotálamo tiene la función de monitorear las consecuencias de la liberación de determinadas hormonas, actuando como una especie de modulador de niveles hormonales en sangre (como un sistema retroalimentador).

Epitálamo

El epitálamo es otra de las estructuras que forma parte del diencefalo. Se encuentra ubicada por detrás del tálamo. Al igual que el tálamo y el hipotálamo, también forma parte del sistema límbico.

El epitálamo comprende tres estructuras: una endócrina denominada glándula pineal, y dos estructuras no endócrinas que son los núcleos habenuares y las estrías medulares. Mencionaremos brevemente algunas funciones de estos dos últimos para luego profundizar en la función endócrina.

Los núcleos habenuares son pequeñas estructuras localizadas en el epitálamo, conectadas al sistema límbico. Participan en la regulación de respuestas emocionales, conductas relacionadas con el estrés y procesos de recompensa, integrando señales provenientes del sistema límbico y transmitiéndolas al tronco encefálico.

Las estrías medulares son fibras nerviosas que conectan los núcleos habenuares con diversas áreas del cerebro, incluyendo el hipotálamo y el sistema límbico. Su función es actuar como una vía de comunicación entre estas estructuras, modulando comportamientos relacionados con las emociones y los estímulos motivacionales.

De estos tres elementos, resaltaremos la función endócrina de la glándula pineal. Esta glándula, secreta una hormona llamada melatonina bajo la influencia del núcleo supraquiasmático del hipotálamo, que recibe información de la retina ocular acerca de los patrones diarios de luz y oscuridad. Es estimulada por la oscuridad e inhibida por la luz. Esta **hormona regula el "reloj biológico"** de nuestro cuerpo. Se sintetiza a un ritmo cíclico (aumentando su secreción durante la noche o las fases de poca luz) y luego es distribuida por la sangre en pequeñas proporciones. La secreción de melatonina informa al cuerpo de las fases circadianas, es decir, el espacio de tiempo que consta de 24 horas, para poder regular las variables del organismo según los ciclos de luz y oscuridad.

Subtálamo

Esta región cerebral que forma parte del diencefalo, resulta esencial en el control de los movimientos. Es una estructura que se encuentra ubicada por debajo y detrás del tálamo. Presenta conexiones con el hipotálamo, con la corteza motora y prefrontal y con los ganglios basales.

El subtálamo, a pesar de ser una estructura de pequeño tamaño, tiene una importante función para el organismo, en tanto integra la información motora que permite la gestión del movimiento. Se lo asocia específicamente a movimientos extrapiramidales, relacionados con aspectos involuntarios del movimiento y al control preciso de este tipo de movimientos.

Además del control motor, también se ha observado que el subtálamo influye en la orientación y el equilibrio.

Bibliografía

Collado, S. (2013) "Fisiología y neurociencias" *El Diencefalo: tálamo, hipotálamo, subtálamo y epitálamo*. Obtenido el día 5 de agosto de 2017 desde <https://www.psicoadactiva.com/blog/diencefalo-caracteristicas-funcion/>

Edu.Lat (2020) Ventrículos cerebrales, anatomía, funciones y enfermedades [Imagen]. <https://definicion.edu.lat/academia/90518EC036B97EA793AB061D2BF4884A.html>

Guyton, A. (1994), "Anatomía y fisiología del sistema nervioso central", Neurociencia básica, Buenos Aires, Editorial médica panamericana

Imagen de las distintas partes del diencefalo (2024). <https://asociacioneducar.com/blog/diencefalo/>

Medline Plus. (2024). Estructura del cerebro [Imagen]. https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/19236.htm

Psicología-online (2023) Sistema ventricular cerebral: qué es, partes y funciones [Imagen]. <https://www.psicologia-online.com/sistema-ventricular-cerebral-que-es-partes-y-funciones-6394.html>

Rains, D. (2003) Principios de neuropsicología humana, México, Editorial: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA DE MEXICO.

Telencéfalo

Eduardo Audisio

El telencéfalo es una de las divisiones del cerebro. Está constituido por la corteza cerebral que recubre los dos hemisferios cerebrales, la sustancia blanca que se encuentra hacia el interior, y los núcleos basales y amigdalinos. En el interior de cada hemisferio se encuentra un ventrículo lateral. Los dos hemisferios están separados por la fisura longitudinal y en la profundidad de este surco se encuentra el cuerpo caloso, conjunto de tractos que conectan dichos hemisferios (figuras 1 y 2).

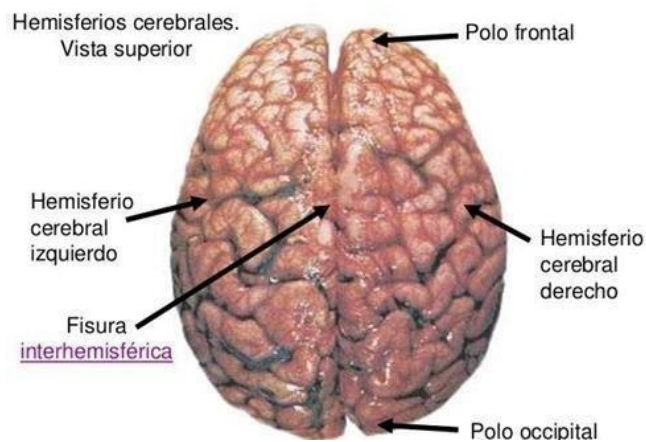


Figura 1. Vista superior de los hemisferios cerebrales. Fuente: <https://www.studypool.com/documents/31475903/mfh-ii-ao-08> (Recuperada el 02/06/2024).

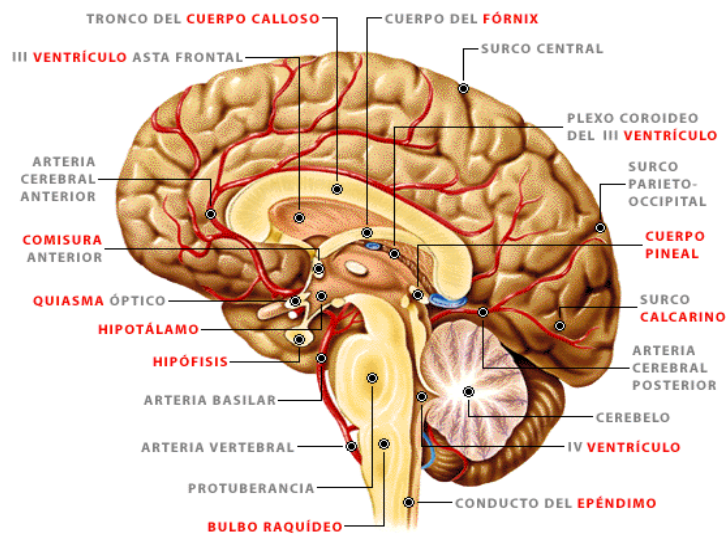


Figura 2. Corte sagital medio del encéfalo. Fuente: <https://co.pinterest.com/pin/50243352076869034/> (Recuperada el 02/06/2024).

La corteza cerebral está constituida por sustancia gris y tiene un espesor de 1,5 a 4,5 mm. Por tratarse de sustancia gris está compuesta por cuerpos neuronales, dendritas, axones no mielinizados, células gliales y vasos sanguíneos. Las neuronas que constituyen a la corteza cerebral son (figura 3):

Células piramidales. El tamaño de su cuerpo celular varía entre 10 y 50 micras. El nombre de estas células nos indica su forma. Desde el vértice superior sale una dendrita que luego se ramifica y se dirige a las capas externas de la corteza. Desde los vértices de la base salen dendritas que se orientan lateralmente. Desde la base del cuerpo celular surge un axón que se dirige a las capas internas de la corteza y penetra en la sustancia blanca, constituyendo fibras de asociación, comisurales y de proyección.

Son fibras de asociación las que comunican con otras regiones del mismo hemisferio. Las fibras comisurales comunican con el otro hemisferio (forman el cuerpo calloso, la comisura anterior). Las fibras de proyección comunican con otras estructuras del SNC: diencefalo, tronco encefálicos, cerebelo y médula espinal (por ejemplo forman la cápsula interna).

Células de Betz. El diámetro de su cuerpo celular es de 100 micras. Son células piramidales gigantes cuyos axones pasan por la decusación motora en el bulbo raquídeo y hacen sinapsis con las neuronas motoras de las astas anteriores de la médula espinal.

Células granulosas o estrelladas. Su tamaño es de 8 micras, tienen un cuerpo poligonal, con múltiples dendritas y un axón corto.

Células fusiformes. El cuerpo tiene forma de huso y su eje longitudinal se dispone en sentido vertical dentro de la corteza. De su extremo superior surge una dendrita que asciende a la superficie externa de la corteza y se ramifica. De su extremo inferior sale una dendrita que se ramifica y se dispone en forma lateral. Además, surge un axón que entra en la sustancia blanca constituyendo fibras de asociación, comisurales o de proyección.

Células horizontales de Cajal. Son pequeñas células fusiformes orientadas horizontalmente que se encuentran en la capa superficial de la corteza. Emerge una dendrita de cada extremo, que luego se ramifica. Además, de uno de los extremos nace un axón que se orienta en sentido horizontal.

Células de Martinotti. Células multipolares cuyo su axón se dirige hacia las capas superficiales de la corteza. Participan con una acción inhibitoria cuando las neuronas piramidales se sobreexcitan.

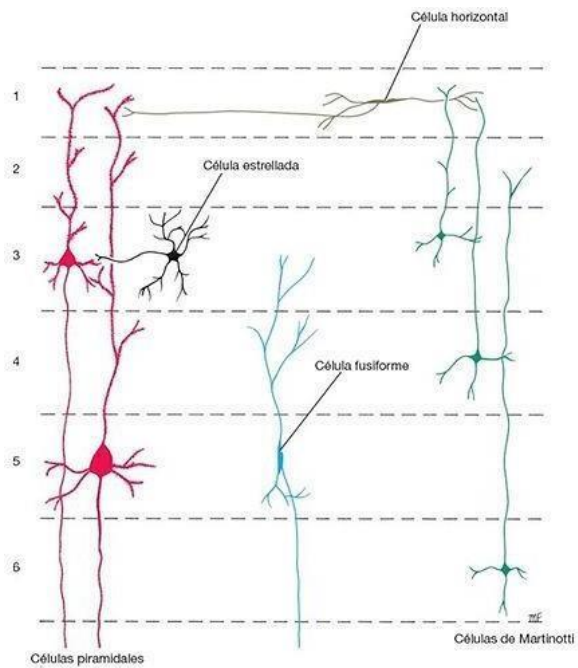


Figura 3. Neuronas de la corteza cerebral. Fuente: <https://www.institutosuperiordeneurociencias.org/unidad-7-neuroanatomia-1> (Recuperada el 03/06/2024).

La corteza cerebral se organiza en capas horizontales. En la neocorteza, la forma más reciente desde una perspectiva filogenética, se distinguen seis capas. La neocorteza constituye el 90% de la corteza cerebral humana. El resto corresponde a formas evolutivas anteriores que poseen tres o cuatro capas.

Las seis capas de la neocorteza, desde la superficie hacia el interior del hemisferio, son las siguientes (figura 4):

Capa molecular. Consiste en una red de fibras nerviosas orientadas tangencialmente que permiten el establecimiento de gran cantidad de sinapsis entre diferentes neuronas. Se encuentran las dendritas de las células piramidales y fusiformes, los axones de las células de Martinotti, y algunas células horizontales de Cajal.

Capa granular externa. Contiene gran cantidad de células estrelladas y piramidales pequeñas.

Capa piramidal externa. Está constituida por gran cantidad de células piramidales de tamaño creciente.

Capa granular interna. Formada por gran cantidad de células estrelladas. Esta capa está muy desarrollada en la neocorteza con funciones sensoriales.

Capa piramidal interna. Contiene células piramidales grandes y es una capa muy desarrollada en la neocorteza motora.

Capa multiforme. La mayoría son células fusiformes y de Martinotti.

Se puede decir que en la neocorteza sensorial se encuentra más desarrollada la capa granular interna (donde se reciben los estímulos provenientes principalmente del tálamo); en la neocorteza motora predomina la capa piramidal interna (de donde salen gran cantidad de axones hacia otras regiones del SNC); y la neocorteza de áreas asociativas tiene las seis capas desarrolladas.

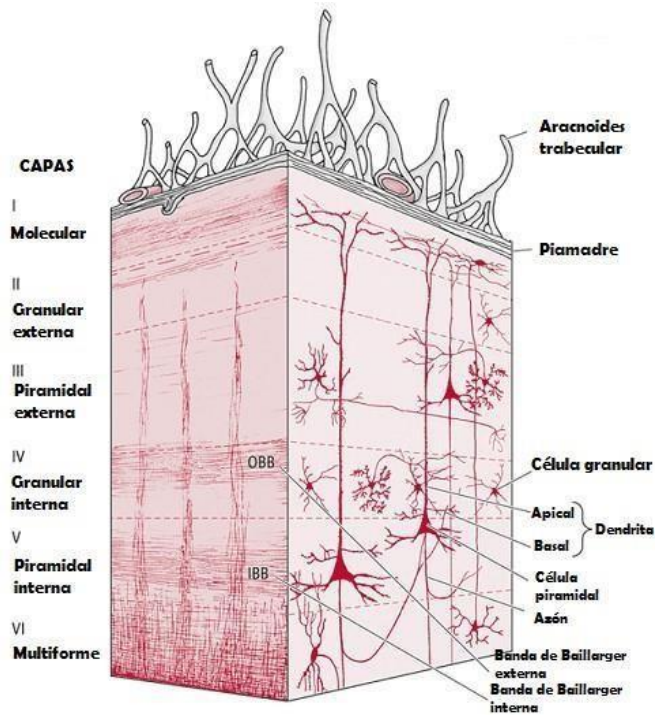


Figura 4. Capas de la corteza cerebral. Fuente: <https://www.facebook.com/neurocienciasyeducacion/posts/capas-de-la-corteza-cerebral-la-corteza-es-la-parte-m%C3%A1s-desarrollada-del-cerebro/484806785292787/> (Recuperada el 03/06/2024).

Por otro lado, las células de la corteza cerebral se organizan en columnas dispuestas en forma vertical que atraviesan todas las capas. Una columna está formada por un grupo de 150 a 300 neuronas, las cuales se conectan entre sí. Cada columna está relacionada con un tipo de función concreta. Por ejemplo, en la corteza visual existen columnas para detectar los colores y otras para la orientación espacial; en la corteza sensorial somática se encuentran columnas con sensaciones táctiles de las distintas partes del cuerpo; en la corteza motora las células de una columna estimulan a un músculo determinado.

La corteza cerebral es un manto de unos 0,25 metros cuadrados de superficie, y en consecuencia al cubrir los hemisferios y estar contenida en la cavidad craneal se presenta con plegamientos. Se denomina **circunvolución** al reborde del plegamiento y **surco** a la hendidura. Cuando los surcos son muy marcados se los denomina **fisuras o cisuras**. Los surcos más destacados son: fisura longitudinal o interhemisférica, surco central o de Rolando, surco lateral o de Silvio y surco parietooccipital. Estos últimos

tres surcos permiten dividir a la corteza de ambos hemisferios en cinco lóbulos: frontal, parietal, occipital, temporal y de la ínsula (figuras 5 y 6).

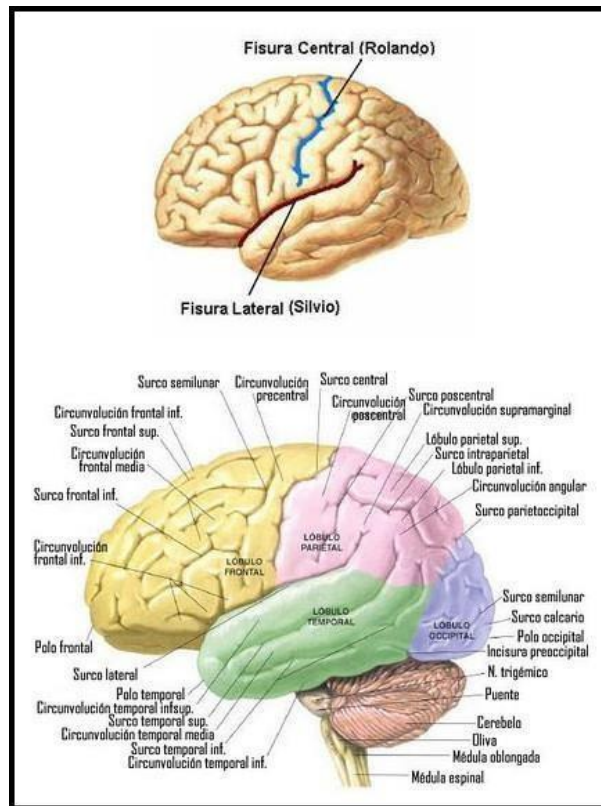


Figura 5. Surcos, fisuras y lóbulos de la corteza cerebral. Fuente: https://uniandesinvestigacion.edu.ec/repositorio/oa/medicina2/giros_y_surcos_del_cerebro.jpg

(Recuperada el 04/06/2024).

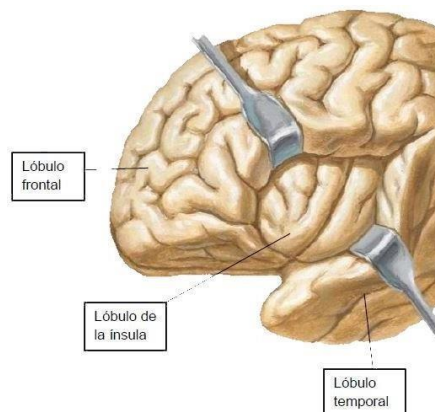


Figura 6. Lóbulo de la ínsula. Fuente: <https://www.neuropsicoblog.es/wp-content/uploads/2016/10/insula-foto.jpg> (Recuperada el 04/06/2024).

En la corteza cerebral se pueden localizar distintas áreas funcionales, que se detallan a continuación (figura 7):

Área somestésica o somatosensitiva. Se localiza en el lóbulo parietal. Recibe información sensitiva desde diferentes partes del organismo. El origen de los

estímulos sensitivos es registrado en las distintas partes del cuerpo por receptores que responden al tacto, presión, temperatura y dolor; pueden ser estímulos externos o internos. Son transmitidos por la médula espinal al tronco encefálico, y luego al tálamo. Desde el tálamo se proyectan al **área somestésica primaria**. Las distintas partes del cuerpo están representadas por áreas corticales delimitadas dentro de la corteza somestésica primaria. Estas áreas no guardan una relación directamente proporcional con la extensión de la zona corporal representada, sino más bien con la importancia funcional de esa parte del organismo. En la especie humana se presentan áreas corticales más extensas para la cara, los labios y los dedos pulgar e índice, y los pies. Información proveniente del área somestésica primaria o de otras estructuras encefálicas profundas llega al **área somestésica secundaria**, donde se integran las señales sensitivas somáticas.

Área visual. Ocupa el lóbulo occipital. El **área visual primaria** recibe las fibras aferentes desde el tálamo, detecta los puntos luminosos u oscuros, las diferentes orientaciones de las líneas o bordes, y otras características elementales de las imágenes. Posteriormente, la información pasa al área adyacente que es el **área visual secundaria**, en la que se la integra e interpreta.

Área auditiva. En la mitad superior del lóbulo temporal se encuentra el área auditiva. El **área auditiva primaria** detecta tonos, intensidad y otras características del sonido. El **área auditiva secundaria** permite la interpretación de los sonidos y su integración con el resto de la información sensitiva.

Área motora. Se encuentra en la parte posterior del lóbulo frontal. El **área motora primaria** controla los músculos específicos del cuerpo para realizar los movimientos finos (dedos, labios, manos, rodilla, etc.). El **área motora secundaria** o **premotora** coordina los movimientos, es la encargada de la programación de los movimientos que se dirigen desde el área motora primaria.

Áreas del lenguaje. Estas áreas están desarrolladas en el hemisferio izquierdo o dominante. En aquellos casos en que el hemisferio dominante es el derecho, estas áreas son importantes en dicho hemisferio. El **área motora del lenguaje de Broca** ubicada en el lóbulo frontal controla los movimientos coordinados de la laringe y la boca para pronunciar las palabras. El **área sensitiva del lenguaje de Wernicke** se encuentra en la confluencia de los lóbulos temporal, occipital y parietal. Permite entender el lenguaje escrito y hablado.

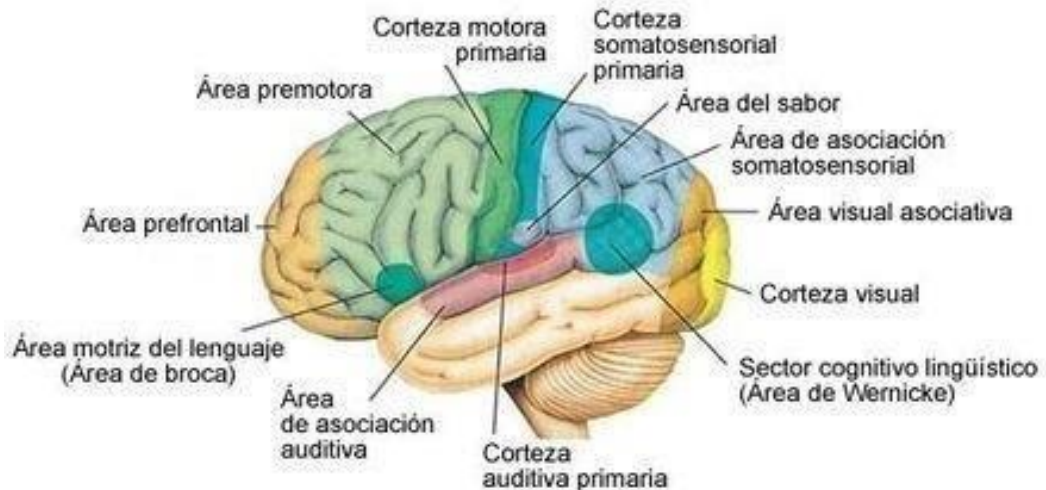


Figura 7. Áreas funcionales de la corteza cerebral. Fuente: https://cdn.goconqr.com/uploads/flash_card/image_question/4248156/desktop_0b4378da-6037-4755-ae95-6282a247e463.jpg (Recuperada el 04/06/2024).

Corteza de asociación. Las áreas mencionadas anteriormente como secundarias cumplen una función de asociación unimodal (por ejemplo: estímulos visuales o estímulos auditivos). Existen otras zonas importantes que integran y analizan información de diferente tipo. Se distinguen tres áreas de asociación multimodal (figura 8):

Área de asociación parietooccipitotemporal. Integra información de diferentes modalidades sensitivas para alcanzar la percepción y el lenguaje (el área de Wernicke está incluida).

Área de asociación límbica. Comprende partes de los lóbulos frontal y temporal en su cara lateral y la corteza en la profundidad de la fisura longitudinal. Se ocupa del procesamiento emocional.

Área de asociación prefrontal. Asocia estímulos motores, sensitivos y experiencias para la producción de ideas abstractas, juicios, emociones y la personalidad.

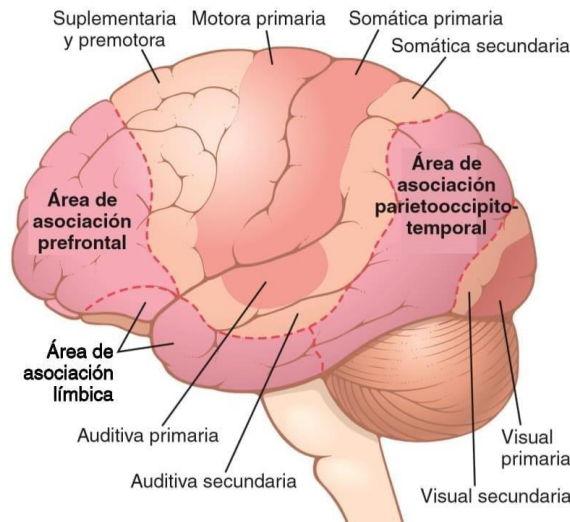


Figura 8. Áreas de asociación prefrontal, parietooccipitotemporal y límbica. Fuente: <https://images.ctfassets.net/zlnfab2lcqx/2ODtAjvNhuGfBRK0upwEq7/a02e7d5977fb960fd7445f1c61191ee5/Areas-cerebro-3.jpg> (Recuperada el 04/06/2024).

Hipocampo. El hipocampo es una estructura de la corteza cerebral en la parte media del lóbulo temporal (figura 9). La corteza que constituye el hipocampo consta de tres o cuatro capas y tiene un origen evolutivo más antiguo que la neocorteza. Su función más importante está relacionada con la formación y la recuperación de la memoria declarativa, no con el almacenamiento de la memoria.

El hipocampo es muy susceptible al estrés. El estrés crónico produce atrofia del hipocampo con reducción de espinas dendrítica y de la neuroplasticidad, y afecta las funciones vinculadas con la formación de la memoria. El hipocampo forma parte del sistema límbico.

Núcleos basales (ganglios basales). Los núcleos basales son el núcleo caudado, el putamen y el globo pálido (figura 10). Los núcleos basales controlan los movimientos básicos groseros del cuerpo, mientras que la corteza cerebral es necesaria para realizar los movimientos más precisos de los brazos, manos, dedos y pies. Cuando la mano está realizando una actividad precisa que exige una postura de fondo del cuerpo, los ganglios basales gobiernan los movimientos corporales mientras que la corteza cerebral proporciona los movimientos precisos. Para lograr el alto grado de coordinación necesario entre los músculos del cuerpo, durante la mayoría de las funciones motoras, circuitos muy complejos interconectan corteza cerebral motora, núcleos basales, tálamo, subtálamo, sustancia negra, núcleo rojo y cerebelo.

Amígdala. La amígdala o complejo amigdalino es un conjunto de núcleos que se ubican en la profundidad del lóbulo temporal (figuras 9 y 10). Su función está relacionada con la formación y almacenamiento de la memoria de los sucesos emocionales. Regula entonces las respuestas a diferentes eventos externos e internos según resulte la carga emocional de los mismos, y se comunica con el hipotálamo induciendo las manifestaciones somáticas vinculadas a la emoción. La amígdala forma parte del sistema límbico.

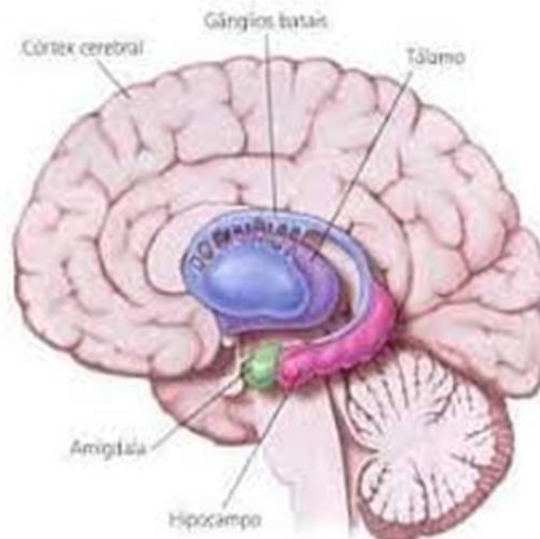


Figura 9. Localización del hipocampo, la amígdala y los núcleos basales. Fuente: <https://ceneri.es/ganglios-basales-y-procesamiento-linguistico/> (Recuperada el 16/07/2024).

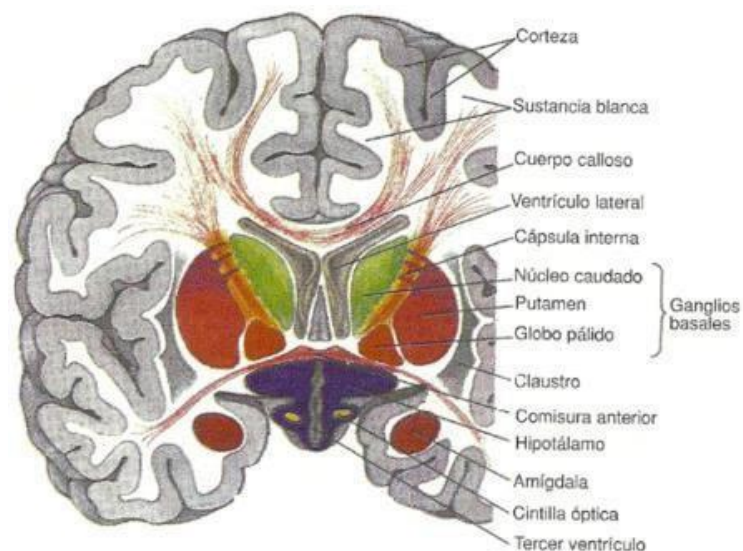


Figura 10. Corte coronal: localización de los núcleos basales y de la amígdala. Fuente: <https://o.quizlet.com/WF5UbB-0jOEXtKBu5bw9OQ.png> (Recuperada el 16/07/2024).

Bibliografía

Guyton, A. (1997). *Anatomía y fisiología del sistema nervioso: neurociencia básica*.

Madrid: Médica Panamericana.

Purves, D. et al. (2008). *Neurociencia*. Madrid: Panamericana.

Snell, R.S. (2014). *Neuroanatomía clínica*. Barcelona: Wolters Kluwer.

<https://o.quizlet.com/WF5UbB-0jOEXtKBu5bw9OQ.png>

El Sistema Límbico

Marina Terrádez

El estudio del sistema nervioso desde una perspectiva neuroanatómica, nos exige delimitar regiones, ubicar ciertos cortes, diferenciar estructuras a nivel macroscópico y comprender las funciones que cada una de las mismas desarrolla. Proceso que lleva implícito la atomización del sistema. Sin embargo, con posterioridad, se hace necesario establecer una integración, que permita considerarlo en sus relaciones, porque cada una de las estructuras no labora de manera aislada, sino que en sus complejas relaciones podrá coordinar las actividades que le son propias.

Paradigma de esta última idea, es lo que llamamos el sistema límbico. El mismo está organizado por diversas estructuras cerebrales que se inervan para trabajar como una red de elementos interconectados, por lo cual constituyen un sistema. En este sentido, es importante destacar las funciones que se organizan a partir de esa trama, más que las que tienen lugar sobre cada una de las partes o estructuras anatómicas que lo conforman. Entendemos que el funcionamiento integrado de sus componentes, permite el establecimiento de recorridos sobre los que tienen asiento actividades complejas que surgen de esa organización.

Según los anatomistas Thibodeau y Patton, el origen de su nombre deviene de la palabra *límbico* (del latín «borde» o «franja») y se refiere a la forma en que se organizan las estructuras corticales organizando un borde curvo alrededor del cuerpo calloso, el cual conecta los dos hemisferios cerebrales.

Por otro lado, la noción de Sistema nos permite considerar tanto las estructuras que lo conforman como las conexiones o enlaces que se establecen entre las mismas. El conjunto de elementos o componentes establecerán relaciones entre sí, a partir de las cuales se organizan nuevas funciones, propiedades o actividades.

En este sentido merece destacarse, la noción de sistema que realizan Domínguez-Ríos y López-Santillán (2016) en la que incluyen articuladamente las definiciones realizadas por diversos autores:

Un sistema es un conjunto de elementos (Von Bertalanffy, 1986) que suman esfuerzos colaborando de manera coordinada y con una constante interacción (Bertoglio, 1993) para alcanzar objetivos en común (Sommerville, 2011), es claramente identificable por una frontera que lo delimita y se encuentra operando en un ambiente o entorno con el cual puede guardar una estrecha relación (Arras Vota, 2010); cada uno de estos elementos puede a su vez, ser un sistema de menor complejidad o tamaño llamado subsistema, y por el

contrario cada uno de esos sistemas pueden ser un elemento de un sistema más grande o supersistema (2016, p. 127).

Dadas las características mencionadas anteriormente, cabe destacarse que el sistema límbico presenta un elevado número de circuitos neuronales, lo que implica que cada estructura anatómica constituyente puede participar a la vez, de varios trayectos, como también, un mismo circuito puede procesar distinto tipo de información. Inclusive, cada uno de ellos no sólo procesa señales neurales, sino también hormonales. (Delgado García 2005)



Figura 1, Componentes del sistema límbico. Fuente: <https://youtu.be/eH2wEjcUxrg?t=921>

Recuperada el 24/04/2025.

Anatomía del Sistema Límbico. Elementos que lo conforman.

Existe cierta discrepancia entre los distintos autores para definir las regiones cerebrales que conforman el sistema límbico, así como las características que entre ellas comparten para prestarle semejante designación. De todos modos, aunque no exista un consenso respecto a su composición anatómica, se acuerda que un conjunto de estructuras telencefálicas y diencefálicas altamente interconectadas, se proyectan hacia el hipotálamo, modulando diversos mecanismos conductuales y neuroendócrinos asociados.

A pesar de lo mencionado anteriormente estableceremos, siguiendo el criterio de diversos autores, algunas de las estructuras que lo integran, presentando en cada caso sus funciones específicas.

Entre los **Núcleos del Diencefalo** se incluyen:

- **Tálamo:** vinculado con la interpretación sensitiva básica, según el par antinómico de placer-displacer.

- **Hipotálamo:** como lo ha mencionado anteriormente Cavallaro, se ubica por debajo y delante del tálamo, controlando funciones corporales internas relacionadas a la supervivencia,. Principalmente, es la cabeza de los circuitos neurosecretorios del sistema endócrino, los cuales tienen a su cargo la regulación de funciones como diuresis, reproducción, metabolismo, etc.
- **Epitálamo:** ubicado sobre el tálamo, está conformado por diferentes estructuras, incluyendo a la glándula pineal. Esta secreta una hormona (melatonina) que es sintetizada a partir del neurotransmisor serotonina, y tiene funciones regulatorias para el dormir, produciéndose a mayores escalas durante las horas donde no hay luz.
- **Cuerpos mamilares:** se encuentran ubicados en la base del cerebro, y sus funciones se relacionan -según Guyton- con estados de vigilia y sensación de bienestar. Es inervada por la amígdala y el hipocampo, y a su vez envía señales al tálamo, constituyendo una red (pequeño circuito).

También forman parte de este sistema límbico numerosas **estructuras Telencefálicas**.

Entre ellas mencionaremos:

- **Bulbo Olfatorio o Rinencéfalo:** procesa información olfativa (en Paleocorteza)
- **Hipocampo:** es parte de la Arquicorteza, y su nombre fue designado por su semejanza con la forma del caballito de mar. Se lo vincula con la conformación y consolidación de la memoria declarativa a largo plazo y funciones de reconocimiento espacial. Conjuntamente con el rinencéfalo ha sido muy estudiado a finales del siglo pasado, en tanto ambos constituyen sitios donde ocurre la neurogénesis, uno de los mecanismos de la plasticidad neuronal. Vale agregar que el hipocampo fue la primera estructura donde se descubrió la potenciación a largo plazo (PLP) y sigue vigente hoy como campo de análisis de los procesos de neuroplasticidad y memoria.
- **Amígdala:** participa en la regulación de la conducta apropiada a cada situación socio-emocional, atribuyéndole tinte afectivo a los recuerdos. Envía proyecciones hacia el hipotálamo y tronco encefálico, fundamentalmente para la activación del SNS (participando de la preparación del cuerpo para la acción o huida). También a los nervios facial y trigémino, de este modo las expresiones gestuales presentarían manifestaciones más vinculadas a la emoción que a la razón.
- **Septum Pellucidum:** también tiene otras denominaciones, entre ellas tabique traslúcido. Está constituido por dos membranas que separan los

ventrículos I y II. Forma parte del área Septal y se lo relaciona con respuestas vinculadas a la ira y la docilidad.

- **Circunvolución cingulada o giro cingular:** constituye una franja de la corteza cerebral que envuelve el cuerpo calloso. Su función se asocia a establecer conexiones entre los procesos cerebrales conscientes y los que no acceden a ella.
- **Fórnix o Trígono cerebral:** Fibras miélinicas (función conectiva) que se proyectan hacia el hipotálamo, hipocampo y hemisferios cerebrales.
- **Núcleo Accumbens:** Se lo relaciona con la activación de la risa, el placer, miedo y procesos de recompensa. Por esta última razón, se lo considera como una estructura involucrada en las adicciones a diversas sustancias.

Según ya hemos anticipado, si bien cada una de estas estructuras a las que se le adscriben particulares funciones es parte constituyente del Sistema límbico, el procesamiento de las funciones realizadas por éste, excede a cada una de las detalladas en cada componente. Es por eso que se hace necesario considerar la fisiología específica que le compete al sistema.

Fisiología del sistema límbico

Las diferentes unidades que lo conforman, se inervan constituyendo una red compleja que permite organizarlo funcionalmente, por lo cual debemos pensarlo como un sistema altamente complejo y superador a cada uno de los elementos que lo constituyen. Entre las funciones que se le asignan, podemos destacar la atribución del componente afectivo en las decisiones y funciones vitales, su participación en la formación de memoria, su implicancia en las actividades que promueven la preservación del organismo, el aprendizaje y la integración de información cognitiva, sensitiva y emocional.

Respecto de su participación en la activación y/o regulación de diversas **actividades conductuales y emocionales**, subrayamos que en la medida en que el hipotálamo es una de las estructuras responsable de organizar funciones como la reproducción, apetito, control térmico, entre otras; las mismas pueden verse afectadas por las emociones que estén o no vinculadas con ciertos acontecimientos de la vida. Por lo tanto, cambios o alteraciones emocionales podrían intervenir y alterar no sólo las actividades antes mencionadas, también los estados de vigilia, sueño, excitación, memoria o capacidad de atención.

Por otro lado, el sistema límbico constituye el soporte anatómico de las funciones de motivación, emoción, memoria, atención, habituación y sensopercepción, que el neurólogo Juan E. Azcoaga denominó como dispositivos básicos del aprendizaje **(DBA)**. Estas conforman los mecanismos fisiológicos necesarios para el desarrollo de

las funciones cerebrales superiores (**FCS**), entre las que incluiremos gnosis, praxias y lenguaje, cuyo asiento se encuentra en estructuras de la corteza cerebral. Los DBA se organizan a la vez en funciones sensoriales y cognitivas que pueden verse modificadas o afectadas por alteraciones emocionales o del desarrollo. Por este motivo, vale considerar que las FCS estarán altamente influenciadas por el funcionamiento del sistema límbico.

Para la neuropsicología clásica, los DBA son los dispositivos indispensables para el aprendizaje y constituyen capacidades innatas en tanto tienen una topografía anatómica determinada, “se trata siempre de sistemas incluidos ya en el sistema nervioso central” (Azcoaga, 1987).

De todos modos, sostenemos que no necesariamente por estar apoyadas en las estructuras anatómicas deban ser capacidades innatas. Podríamos considerar que, si bien las funciones requieren la disposición de una organización anatomo-fisiológica, se desarrollan en relación a lazos constitutivos, emergiendo como consecuencia de un proceso de subjetivación que se articula con la maduración neurológica. En otras palabras, la función se apoyaría en las estructuras anatómicas, pero tales funciones no se desarrollan per-se, y esto porque la disposición biológica no es determinante de las mismas. En este sentido, me parece muy interesante el planteo realizado por Gabriel Brarda, quien manifiesta lo siguiente:

(...) nada está definido (...) genéticamente heredamos disposiciones para cumplir funciones, que se desarrollarán según las necesidades que tengamos en el medio (...) genéticamente venimos dispuestos para adquirir aptitudes en el curso del desarrollo. (2011, pp. 59-60).

Siguiendo esa línea, la integridad biológica de una persona es condición necesaria¹ pero no suficiente para el desarrollo de las funciones neurológicas, dentro de las que incluimos los DBA. Asimismo, como ya hemos anticipado, esto no puede ocurrir por fuera del proceso de subjetivación, que se organiza a partir del lazo del recién nacido con el Otro primordial y su entorno. Luego de perderse los reflejos primordiales con que cuenta al nacer el infans, las distintas funciones se organizarán en la medida en que se produzcan las “nupcias entre psique y soma” (Amigo, 1999).

¹ Merece realizarse una aclaración en este punto. Según Gabriel Brarda si en nuestro medio necesitamos ver, será el área occipital la encargada de llevar a cabo el procesamiento nervioso que permita la función visual, porque hay cierta facilitación para procesar allí los estímulos visuales. Sin embargo, en caso de que no contáramos con esa área, bajo un estímulo adecuado, serán otras áreas de la corteza (temporal u parietal) las que desarrollen esa aptitud para el procesamiento de esa información (2011, p 60).

Bibliografía

- Amigo, S. (1999). *Clínica de los fracasos del fantasma*. Rosario, Argentina: Ediciones Homo Sapiens.
- Azcoaga, J (1977) Los retardos del lenguaje en el niño (en colab.) Buenos Aires, Editorial Paidós.
- Azcoaga, J (1987) Aprendizaje fisiológico. Psicología lenguaje aprendizaje. Actas de las primeras jornadas nacionales de APINEP Rosario (pp 17-32). Ediciones pedagógicas. Buenos Aires.
- Bertalanffy, L. (1989): "Teoría general de los sistemas", <[http://cienciasyparadigmas.files.wordpress.com/2012/06/teoria-general-de-los-sistemas- -fundamentos-desarrollo-aplicacionesludwig-von-bertalanffy.pdf](http://cienciasyparadigmas.files.wordpress.com/2012/06/teoria-general-de-los-sistemas--fundamentos-desarrollo-aplicacionesludwig-von-bertalanffy.pdf)> [21/08/2024].
- Brarda, G. (2011) Procesos Neurales. Cristóbal, E. Lueiro, L. y Rodríguez, S. en Cruces entre Psicoanálisis y Neurobiología. Buenos Aires. Lugar Editorial.
- Delgado, J. (2005) "Sistema Límbico". Tresguerres, J en Fisiología Humana. (pp 166-183) Editorial Mc Graw- Hill. 3era Edición. En www.booksmedicos.org
- Domínguez Ríos, V. A., & López Santillán, M. Ángel. (2017). Teoría General de Sistemas, un enfoque práctico: General Systems Theory, a practical approach. TECNOCIENCIA Chihuahua, 10(3),125–132. <https://doi.org/10.54167/tch.v10i3.174>
- Guyton, A (1997) Anatomía y fisiología del sistema nervioso: neurociencia básica. Madrid: Médica Panamericana.
- Thobodeau, G y Patton, K. (2007) Anatomía y fisiología. Siempre Medicina (8va Edición) Barcelona, España. Editorial Elsevier.