

Neuroanatomía funcional

Autor: Oscar Javier Rodríguez Riveros



Neuroanatomía funcional / Oscar Javier Rodríguez Riveros, /
Bogotá D.C., Fundación Universitaria del Área Andina. 2017

978-958-5459-14-4

Catalogación en la fuente Fundación Universitaria del Área Andina (Bogotá).

© 2017. FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DEL ÁREA ANDINA
© 2017, PROGRAMA PSICOLOGÍA
© 2017, OSCAR JAVIER RODRIGUEZ RIVEROS

Edición:

Fondo editorial Areandino

Fundación Universitaria del Área Andina

Calle 71 11-14, Bogotá D.C., Colombia

Tel.: (57-1) 7 42 19 64 ext. 1228

E-mail: publicaciones@areandina.edu.co

<http://www.areandina.edu.co>

Primera edición: noviembre de 2017

Corrección de estilo, diagramación y edición: Dirección Nacional de Operaciones virtuales

Diseño y compilación electrónica: Dirección Nacional de Investigación

Hecho en Colombia

Made in Colombia

Todos los derechos reservados. Queda prohibida la reproducción total o parcial de esta obra y su tratamiento o transmisión por cualquier medio o método sin autorización escrita de la Fundación Universitaria del Área Andina y sus autores.

Neuroanatomía funcional

Autor: Oscar Javier Rodríguez Riveros





Índice

UNIDAD 1 filogenia y ontogenia del sistema nervioso

| | |
|---------------------|---|
| Introducción | 7 |
| Metodología | 8 |
| Desarrollo temático | 9 |

UNIDAD 1 Como conocemos

| | |
|---------------------|----|
| Introducción | 25 |
| Metodología | 26 |
| Desarrollo temático | 27 |

UNIDAD 2 Introducción al potencial de membrana en reposo

| | |
|---------------------|----|
| Introducción | 41 |
| Metodología | 42 |
| Desarrollo temático | 43 |

UNIDAD 2 Sinapsis

| | |
|---------------------|----|
| Introducción | 58 |
| Metodología | 59 |
| Desarrollo temático | 60 |



Índice

UNIDAD 3 Sistema Nervioso

| | |
|---------------------|----|
| Introducción | 77 |
| Metodología | 78 |
| Desarrollo temático | 79 |

UNIDAD 3 Meninges

| | |
|---------------------|-----|
| Introducción | 104 |
| Metodología | 105 |
| Desarrollo temático | 106 |

UNIDAD 4 Sistema Nervioso Periférico

| | |
|---------------------|-----|
| Introducción | 120 |
| Metodología | 122 |
| Desarrollo temático | 123 |

UNIDAD 4 INervios cervicales

| | |
|---------------------|-----|
| Introducción | 131 |
| Metodología | 132 |
| Desarrollo temático | 133 |

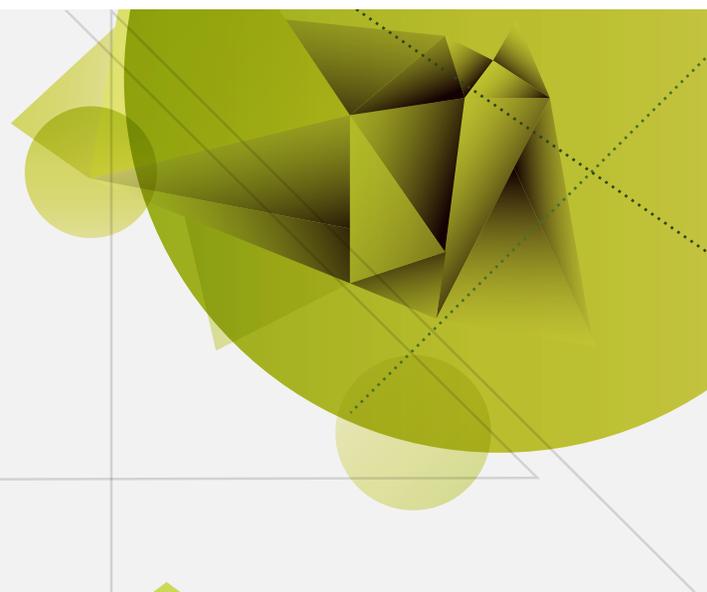
| | |
|--------------|-----|
| Bibliografía | 154 |
|--------------|-----|



1

Unidad 1

filogenia y
ontogenia del
sistema
nervioso



Neuroanatomía Funcional

Introducción

El propósito de este inicio de la asignatura Neuroanatomía Funcional, es identificar los hitos y avances en el estudio del cerebro humano desde la época de la Grecia antigua, hasta las posturas de los autores clásicos en la investigación del sistema nervioso. Además, recordar la historia evolutiva de los grupos taxonómicos a partir de un antepasado común, es decir, la **filogenia** del ser humano y también comprender la **ontogenia**, entendida como el desarrollo de los seres vivos desde la etapa embrionaria hasta su muerte.

De manera específica, abordaremos el desarrollo del sistema nervioso desde la fecundación, hasta la formación completa de cada estructura encefálica y se abordarán algunos elementos claves que se requieren para que el feto tenga un adecuado desarrollo de su sistema nervioso según su proceso embrionario.

Es importante conocer la historia y las preguntas que repercutieron en el conocimiento que tenemos hoy en día sobre la neuroanatomía humana, facilitando el abordaje desde un modelo biopsicosocial. Esto aporta a que como profesionales en formación logren comprender el comportamiento humano desde su neurobiología y a su vez analizar las alteraciones del comportamiento causadas por anomalías que se presenten en cualquier fase del desarrollo del sistema nervioso como parálisis cerebral, micro o macrocefalia, así como enfermedades genéticas o malformaciones que repercutirán en la vida de la persona.

Así que, preguntas que podrán responder durante la cartilla son: ¿Desde hace cuando se estudia el sistema nervioso? ¿En qué momento pasamos a ser mucho más que células? ¿Cómo se desarrolla el feto y en sí su encéfalo? entre muchas otras.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual se dedicará a sus lecturas, recursos e investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante logre una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planee los espacios y horas de estudios que dedicará al módulo, de esta manera evitará distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de una forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquellos términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas, si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.). No es adecuado estar levantándose de sus lugares de estudio para buscar algún material, esto genera distracción de las ideas en las que trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, etc.).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Recuerden que la cartilla no debe ser el único recurso de consulta del tema.

Filogenia y ontogenia del sistema nervioso

Desarrollo histórico del estudio del cerebro

Para avanzar a términos como holismo e integralidad para definir el comportamiento humano, el transcurso de la historia ha dado saltos importantes. En la actualidad se entiende que el término holístico se refiere a “la manera de ver las cosas enteras, sin la idea de fragmentación, en su conjunto, en su complejidad, pues de esta forma se pueden apreciar interacciones, particularidades y procesos que por lo regular no se perciben si se estudian los aspectos que conforman el todo, por separado” (González, 2007). Con esto se pretende comprender de manera integrada aquellos factores que intervienen en el bienestar físico, psicológico y emocional de los seres humanos, envolviendo, los componentes externos e internos que le influyen.

Desde la Grecia antigua se exploraba el estudio del cerebro, como en el caso de **Hipócrates** en el siglo IV A.C (460-379) padre de la medicina, quien postuló que al cerebro no solo llegan las sensaciones que se reciben por medio de los diferentes sentidos, sino que además es el asiento de la inteligencia.

De otra parte, **Aristóteles** (384-322 A.C) sustentó que el centro del intelecto es el corazón, entendiendo que la función primordial del cerebro era la de regular los componentes de temperatura de la sangre que se sobrecalentaba al pasar por el corazón. A pesar de que esa postura no es aceptada como correcta en la actualidad, destaca la importancia del corazón como condición vital de los seres humanos. En el siglo XXI sabemos que el corazón es primordial para el bombeo de sangre a las diferentes instancias del cuerpo, incluyendo el encéfalo, al cual, por medio de las arterias llega oxígeno, pero esto se explicará con profundidad en otra unidad.

Posteriormente, en el Imperio Romano, **Galen** (130- 200 D.C), reconocido médico en la historia de las ciencias de la salud, diseccionó animales, especialmente ovejas, hallando que existen dos estructuras a primera vista, las cuales denominó como cerebro (la estructura más grande) y una estructura posterior (hacia atrás) el cerebelo. Observando estas estructuras intentó deducir las funciones que cumplía cada una de ellas y planteó que el cerebro, por ser una estructura grande y blanda, estaba encargada de las sensaciones; mientras que el cerebelo con una forma mucho más pequeña y rígida, era responsable del control de los músculos. Además, identificó en el cerebro unos espacios llenos de líquido (ventrículos) a

partir de los cuales, concluyó que por estos huecos pasaban cuatro fluidos vitales o humores y que el cuerpo funcionaba de acuerdo al equilibrio de estos fluidos, deduciendo que su movimiento iniciaría la activación del cuerpo.

Siguiendo la línea de tiempo, llegamos al Renacimiento con **Andreas Vesalio** (1514-1564), quien detalló con mayor profundidad las ideas de Galeno conservando el principio de que los ventrículos llenos de líquido, causaban el movimiento gracias a la expulsión del fluido por medio de los nervios.

En el mismo periodo de tiempo, encontramos a **René Descartes**, filósofo y principal exponente del dualismo, quien afirmaba que “la mente es una entidad espiritual que recibe las sensaciones y ordena los movimientos comunicándose con la maquinaria del cerebro por medio de la glándula pineal, que trabaja a modo de válvula para controlar el movimiento de los espíritus animales a través de los nervios que inflan los músculos” (De Finger, 1994, fig. 2-16).

Ya en los siglos XVII y XVIII, se rompe la postura de Galeno y se presenta la descripción de los ventrículos a mayor profundidad, descubriendo que los tejidos cerebrales se dividían en dos partes: sustancia gris y sustancia blanca. Así, hacia finales de este siglo el sistema nervioso ya había sido disecado completamente y descrito su anatomía macroscópica.

Posteriormente, en el siglo XIX **Luigi Galvani** y colaboradores, generando estimulación eléctrica en las extremidades de las ranas, lograron que los músculos se contrajeran y mediante este experimento, identificaron que los nervios se comunican por factores eléctricos, los cuales pueden ser producidos

por el mismo cerebro. Con estos mismos avances, en 1823 **Marie-Jean-Pierre Flourens** descubrió en estudios con animales que el cerebro desempeña una coordinación de los movimientos debido a la información que ingresa (sensación) y la información perceptual.

Devolviéndonos un poco, en 1809, **Franz Joseph Gall**, propuso la llamada frenología, antigua teoría que propone que la propensión a ciertos rasgos personales, como la destructividad, violencia o hasta la habilidad para tocar algún instrumento, podían estar relacionados con las dimensiones de la cabeza o protuberancias de la bóveda craneal.

Los estudios o teorías que hemos visto hasta ahora han realizado análisis únicamente a nivel macroscópico, sin explorar la composición de los tejidos. Pero, para entender el comportamiento humano hace falta estudiar los componentes del encéfalo, aquellos que no son visibles al ojo humano. Uno de los mayores obstáculos para poder ir más allá de lo observable al ojo humano, fue el pequeño tamaño de las células nervosas, es decir, las neuronas, que en su mayoría no superan los 0,05 mm de diámetro (imagine una punta de lápiz dividida 200 veces). Pero con el desarrollo del microscopio a finales de siglo XVII y la posibilidad de cortar o diseccionar el encéfalo comenzaron nuevas investigaciones y análisis microscópicos o moleculares que permitieron saber la composición del encéfalo y así relacionarlo con el comportamiento humano.

En este sentido, a finales del siglo XIX **Franz Nissl**, desarrolló una técnica que permitía diferenciar las células, conocida como la *tinción de Nissl*, la cual permite ver (gracias a un tinte) el cuerpo de la neurona, princi-

palmente el retículo endoplasmático rugoso, que se tornaba azul oscuro. A pesar de la gran ventaja que produjo la tinción del cuerpo de la célula, esta técnica no permitía observar el resto de las partes de la neurona; pero en 1873 Camilo Golgi, descubrió que al sumergir una muestra de tejido del cerebro en una solución de cromato de plata, toda la neurona se pintaba de negro, no únicamente el núcleo como la de Nissl, por lo que se podía visualizar la estructura general de la neurona (cuerpo, dendritas y axón). Con este descubrimiento, se dio un gran avance en la investigación de tejidos y principalmente del sistema nervioso.

A partir de 1888, el investigador español **Santiago Ramón y Cajal** utilizando la técnica de Golgi describe varias conexiones en regiones del encéfalo y descubre que las neuronas no se tocan entre ellas para comunicarse, sino que tienen un espacio, diminuto, entre ellas logrando una apreciación más precisa de la estructura y organización del Sistema Nervioso, siendo la base para muchas teorías que ahora conocemos.

Autores más contemporáneos catalogados como clásicos en el estudio del cerebro, pero con una visión más localizacionista, son **Paul Broca y Karl Wernicke**, los dos gracias a registros detallados de sus pacientes que presentaban alteraciones a nivel del lenguaje y con investigaciones postmortem lograron relacionar áreas corticales (regiones de la corteza cerebral) con funciones específicas. Broca identificó que un área ubicada en la parte frontal del hemisferio izquierdo (ver figura 1) estaba lesionada en su paciente y esto lo relacionó con la dificultad que tenía su paciente en la producción del lenguaje (podía comprender el lenguaje, pero no podía hablar), por lo que a esa región ahora

se le conoce como el área de Broca (región responsable por producción del lenguaje).

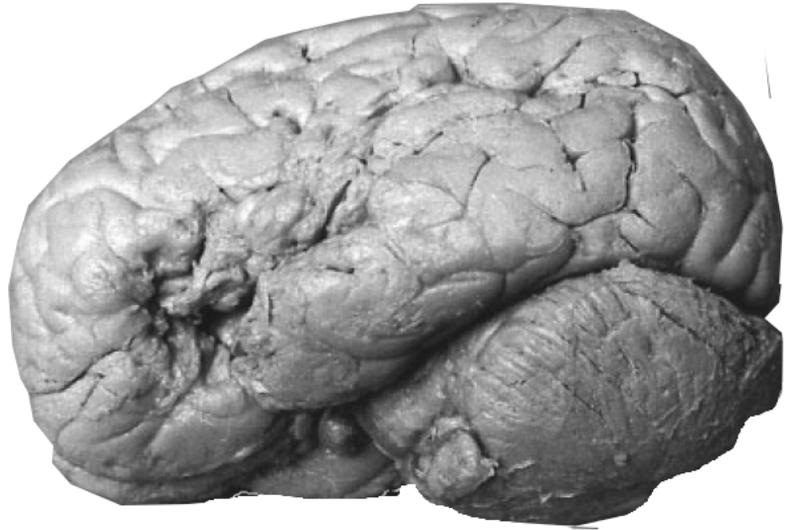


Figura 1

Fuente: <http://revistasimplemente.com.br/wp-content/uploads/2017/05/BrocasBrain.png>

Figura 1 área de Broca. Éste es el cerebro de un paciente que había perdido la capacidad para hablar antes de morir en 1861. La lesión que produjo el déficit está rodeada por un círculo (De Corsi, 1991 citado por Bear, Connors, Paradiso, 2008).

De igual manera, Wernicke identificó una lesión en el lóbulo temporal de su paciente y lo relacionó con la dificultad que tenía para comprender el lenguaje, por lo que actualmente a esa región se le conoce como área de Wernicke (ver figura 2).

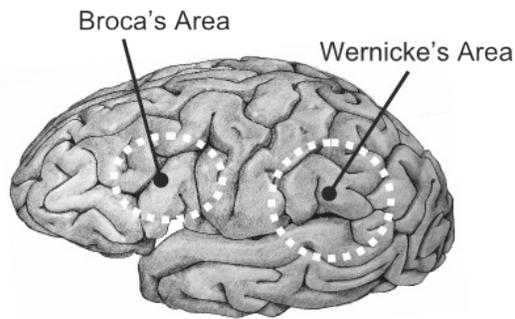


Figura 2. Áreas Broca y Wernicke
Fuente: <https://auditoryneuroscience.com/sites/default/files/BrocasAndWernickesAreas.png>

En conclusión, con estas investigaciones y descubrimientos que, por supuesto no son todos, la ciencia ha logrado grandes avances y nuevas técnicas que nos han permitido aumentar nuestra comprensión del ser humano y su comportamiento. Y ¿por qué un psicólogo debe conocer la historia?, porque es fundamental reconocer el esfuerzo de grandes científicos y aún más importante es darse cuenta que para hacer ciencia y aportar al conocimiento desde nuestro campo solo se necesita empezar.

Ahora, conociendo los grandes pensadores de la historia de la neurociencia, vamos a entender cómo es el desarrollo del ser humano desde su fecundación, específicamente el desarrollo de su sistema nervioso (ver figura 3).

Desarrollo del sistema Nervioso

La **embriología** es el estudio de las transformaciones que sufre el óvulo fecundado hasta el momento del nacimiento, este estudio pasa por algunas etapas comenzando por la gametogénesis y fecundación (segmentación e implantación), por último, se presenta la gastrulación generando el desarrollo del sistema nervioso (Maulini, Montenegro, Estrada, 2006). Es por esto que la embriología se define como la rama de la biología

que estudia el desarrollo embrionario y nervioso, además del proceso mediante el cual un organismo desarrolla su forma (morfo-génesis).

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL (humano)

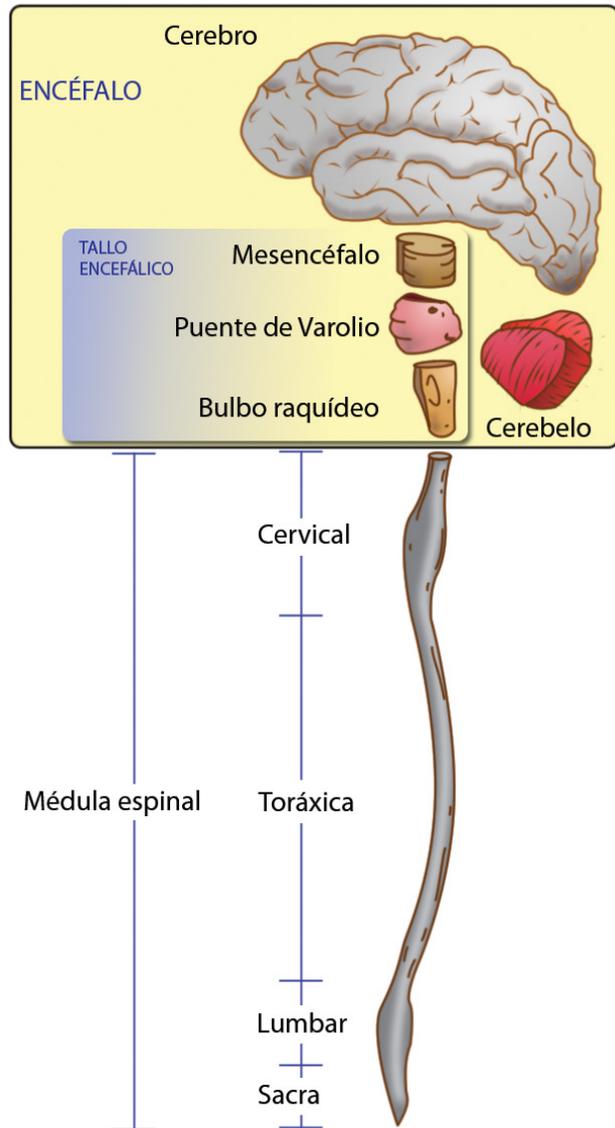


Figura 3. El sistema nervioso central. Está compuesto por el cerebro y la médula espinal
Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_nervioso_central#/media/File:SNerviosoC.png

Así, en esas transformaciones está el desarrollo inicial del Sistema Nervioso, el cual es determinado por eventos que ocurren antes de la formación de las sinapsis. Esos eventos iniciales incluyen (Bear et al 2008):

- El establecimiento del sistema nervioso primordial en el embrión.
- La generación inicial de las neuronas a partir de células precursoras indiferenciadas.
- La formación de las principales regiones encefálicas.
- La migración de neuronas desde los locales donde son generados hasta sus posiciones finales.

En esta cartilla se abordarán los cuatro puntos anteriormente nombrado, unos con mayor énfasis que otros.

Gametogénesis (aparatos reproductores femenino y masculino)

En primer lugar, debemos tener claro cómo comienza todo. La **gametogénesis** es la formación de gametos por medio de la meiosis a partir de células germinales. Los gametos son células sexuales (óvulo y espermatozoides) que ejercen una función reproductora. Y ¿por qué hablar de la gametogénesis? Porque es durante este proceso que, en el caso del hombre, se producen los espermatozoides y en las mujeres los ovocitos, y es gracias a la reproducción sexual que se da la fecundación de estos gametos y se crea una nueva vida.

Las etapas o estadios básicos del desarrollo en los animales son:

- Fecundación.
- Segmentación: mitosis, blastómeros, mórula y blástula.
- Gastrulación.
- Neurulación.
- Organogénesis.

Fecundación

La **fecundación**, es el proceso en el cual se fusionan los gametos masculinos (espermatozoide) y los gametos femeninos (óvulos), durante el proceso de la reproducción sexual para crear un nuevo individuo con genes derivados de ambos progenitores. Esto se da en las trompas de Falopio, específicamente en la región de la ampolla uterina (ver figura 4). La fusión de los núcleos de ambos gametos produce un cigoto (previamente llamado óvulo cuando el espermatozoide hace el ingreso) de 46 cromosomas. Después de ocurrida la fecundación ocurren una serie de cambios o transformaciones como la segmentación.

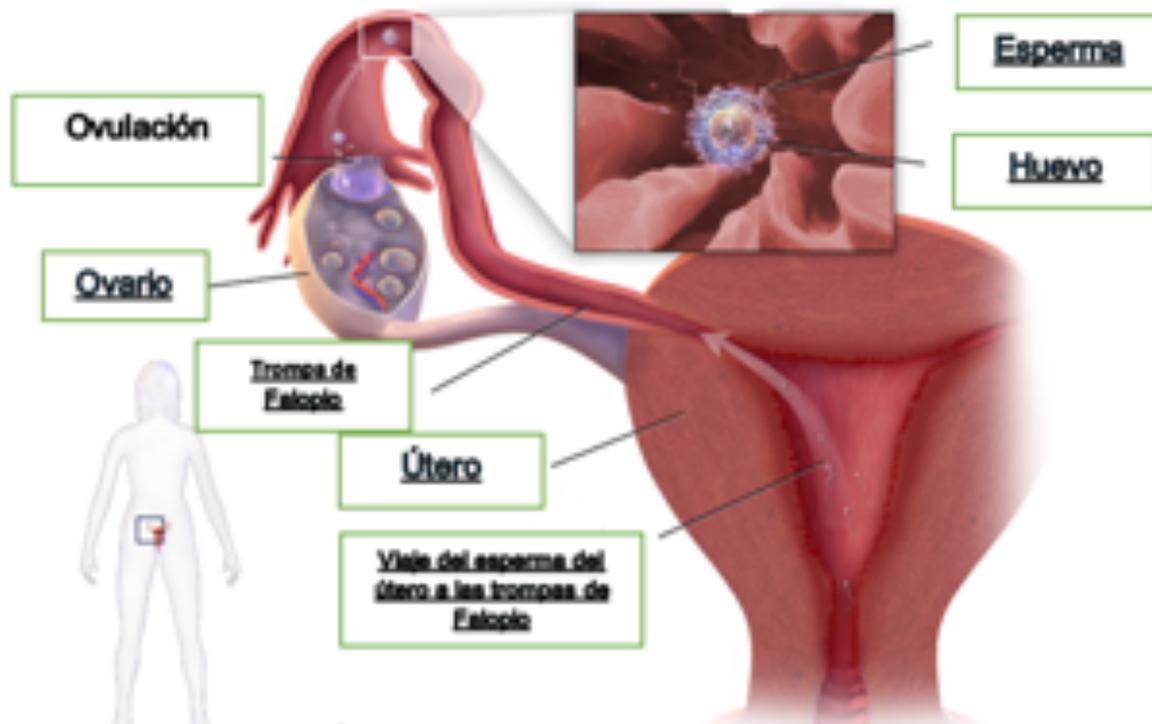


Figura 4. Fecundación

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/79/Blausen_0404_Fertilization.png

Segmentación (mitosis, blastómeros, mórula y blástula)

Cuando hablamos de **segmentación** nos referimos a las divisiones celulares del óvulo fecundado que originará la mórula (ver figura 5). Mediante este proceso, el embrión o cigoto, se transforma en un organismo multicelular por una serie de divisiones mitóticas (recordamos de la clase de biología y genética del comportamiento el proceso de mitosis), en las que el citoplasma del huevo se divide en numerosas células más pequeñas (Curtis, 2008). Este proceso embriológico temprano se produce antes de la gastrulación.

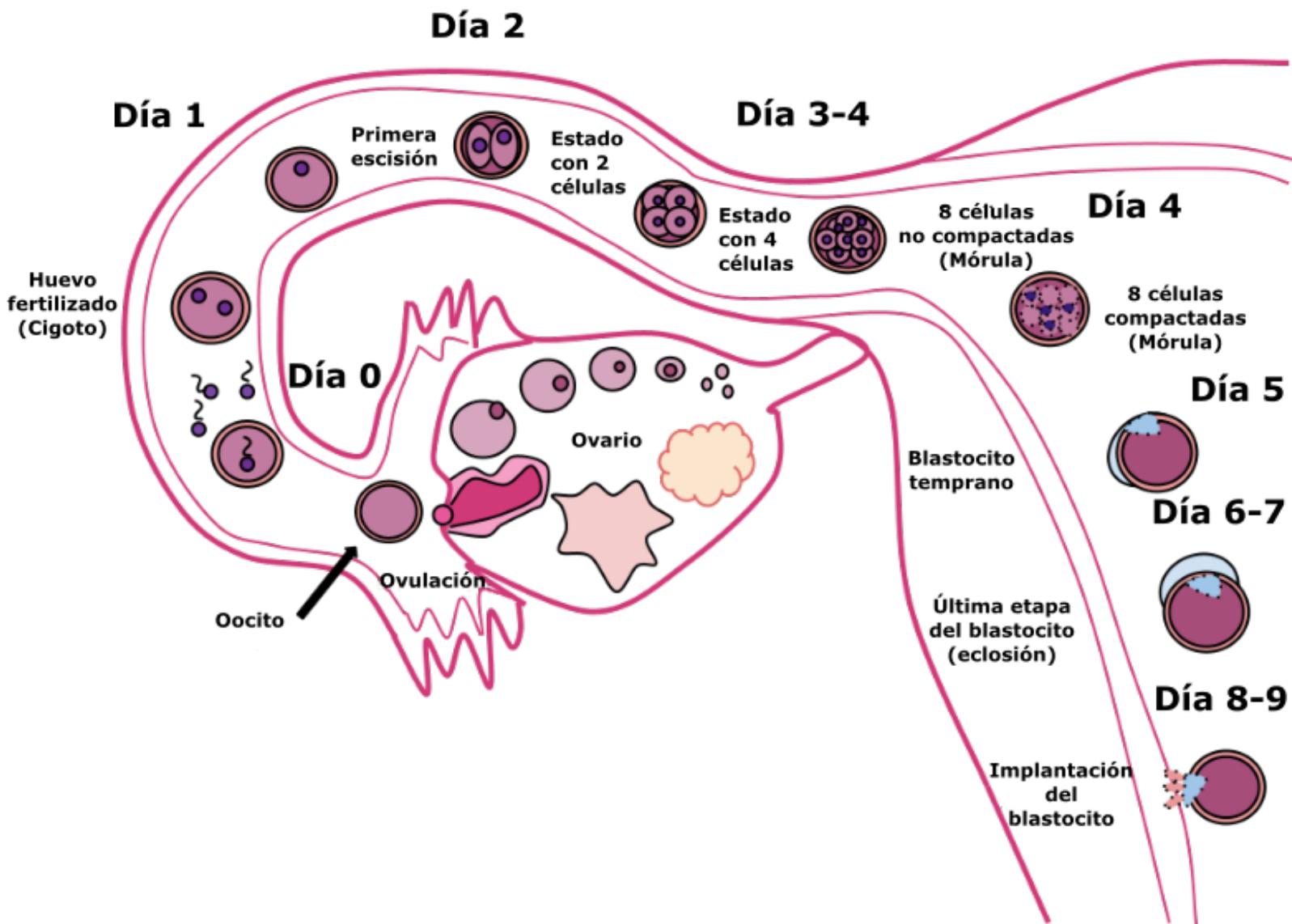


Figura 5. Divisiones celulares del óvulo fecundado que originará la mórula, evidenciando los cambios por días de división

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/e7/Human_Fertilization-es.png

En un periodo aproximado de 30 horas posterior a la fecundación el cigoto empieza un proceso de división celular por mitosis formando los **blastómeros**, un tipo de células embrionarias del nuevo individuo. Los blastómeros se dividen rápidamente durante los primeros días de la gestación y a pesar de que el número de células aumenta, el tamaño del embrión permanece. En el transcurso de 3 a 4 días el cigoto tiene más de 16 blastómeros, recibiendo a partir de ese momento el nombre de **mórula** (por tener forma de mora). La mórula a medida que se ha dividido también presenta un desplazamiento a lo largo de las trompas de Falopio hasta llegar finalmente al útero.

La mórula al terminar su transporte y llegar a la zona uterina es invadida por el líquido que allí se encuentra, lo cual genera un espacio en el interior, que desplaza a los blastómeros a la periferia, quedando en un polo embrionario o envoltura externa (tropoblasto), este proceso es conocido como **blastulación**. Las células de la masa interna se conocerán como embrioblasto "que darán origen al embrión propiamente dicho y las células de la capa externa como trofoblasto formarán la placenta" (Sadler, 2007) (ver figura 6).

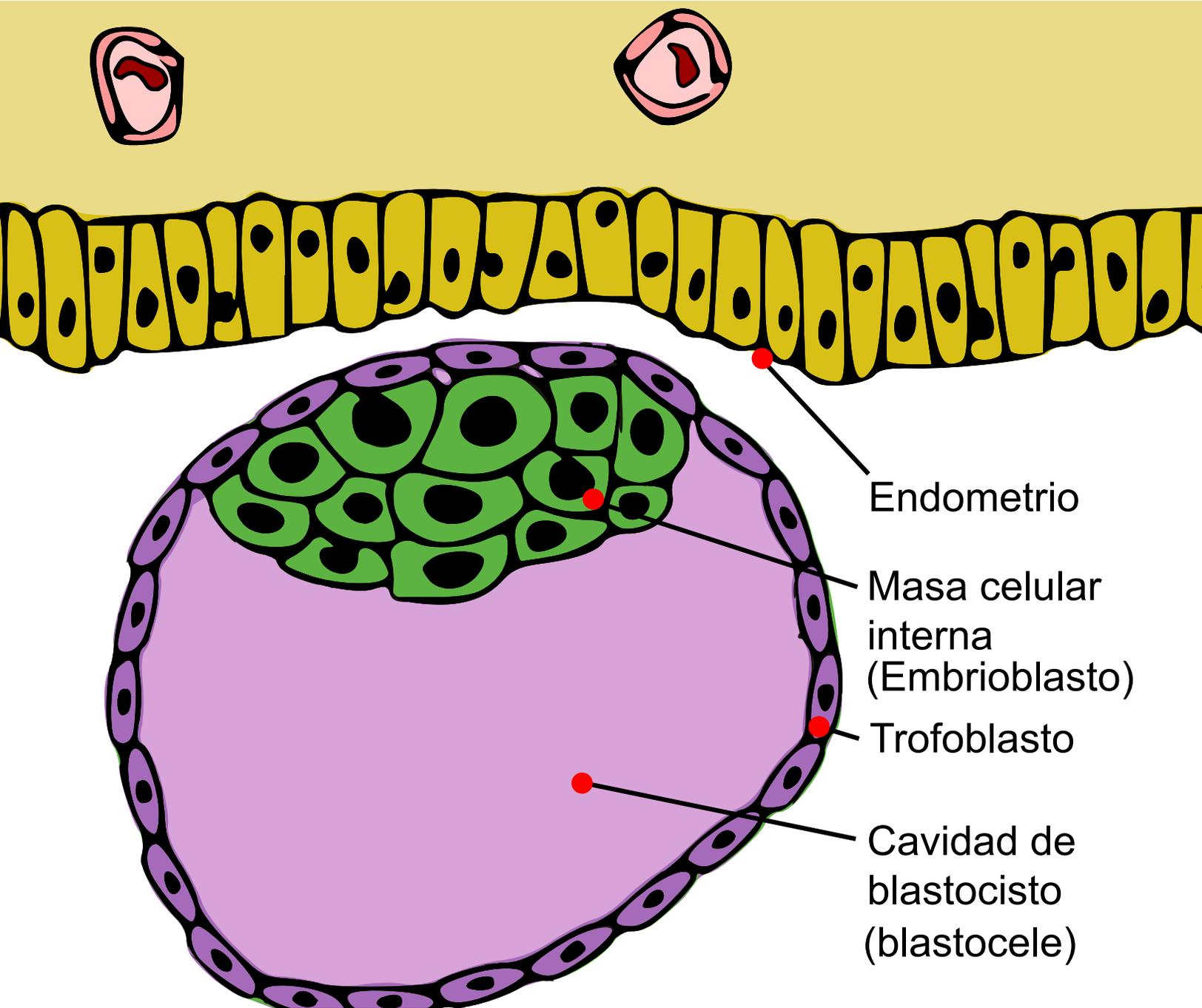


Figura 6. Diagrama de un blastocisto, con su membrana (Trofoblasto), su cavidad (Blastocelo), la masa celular interna (Embrioblasto); en relación al endometrio

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/7/72/Blastocyst_English.svg

Aproximadamente entre el día 5 y 6, el blastocisto se implanta en el endometrio en la pared posterior del útero y alrededor del séptimo día el blastocisto se adhieren a la mucosa uterina, por el lado del polo embrionario, generando la implantación definitiva en la cavidad uterina.

Finalmente, al octavo día de desarrollo, el embrioblasto (estructura celular situada en un polo del blastocisto) presenta otra división, dando lugar a dos capas: el **hipoblásto** y el **epiblasto**. Estas capas juntas forman lo que se le conoce como el disco *germinativo bilaminar*. En el interior del epiblasto aparece una cavidad, la cual con el tiempo cambiará (agrandándose) para formar la cavidad amniótica.

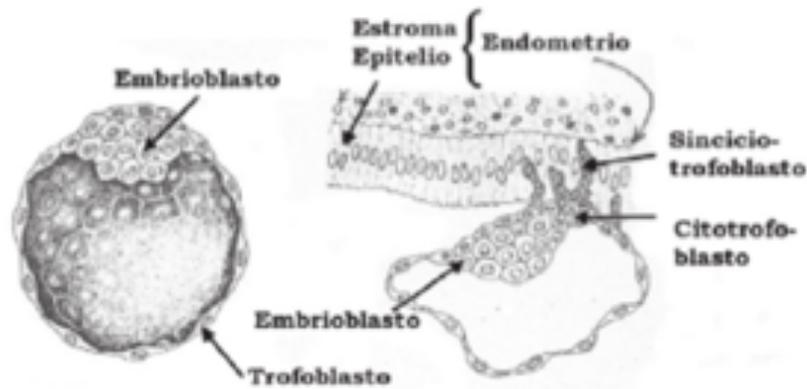


Figura 7. Blastocisto. El embrioblasto está representado por una masa de células hacia el polo embrionario, la que se encuentra cubierta por el trofoblasto. Esta última delimita toda la cavidad del blastocisto. B, Comienzo de la implantación, las células trofoblásticas del polo embrionario forman el sinciotrofoblasto, la cual, por acción enzimática, penetra en la mucosa uterina
Fuente: Maulini, et al 2006.

En conclusión, las células resultantes de la división del cigoto son los blastómeros, que van a formar una masa compacta llamada mórula y a partir de esta se forma la blástula, para finalmente dar paso a otra etapa del desarrollo llamada **gastrulación**, proceso mediante el cual el embrión pasa a tener o adquirir tres capas germinales: ectodermo, mesodermo y endodermo (ver figura 8).

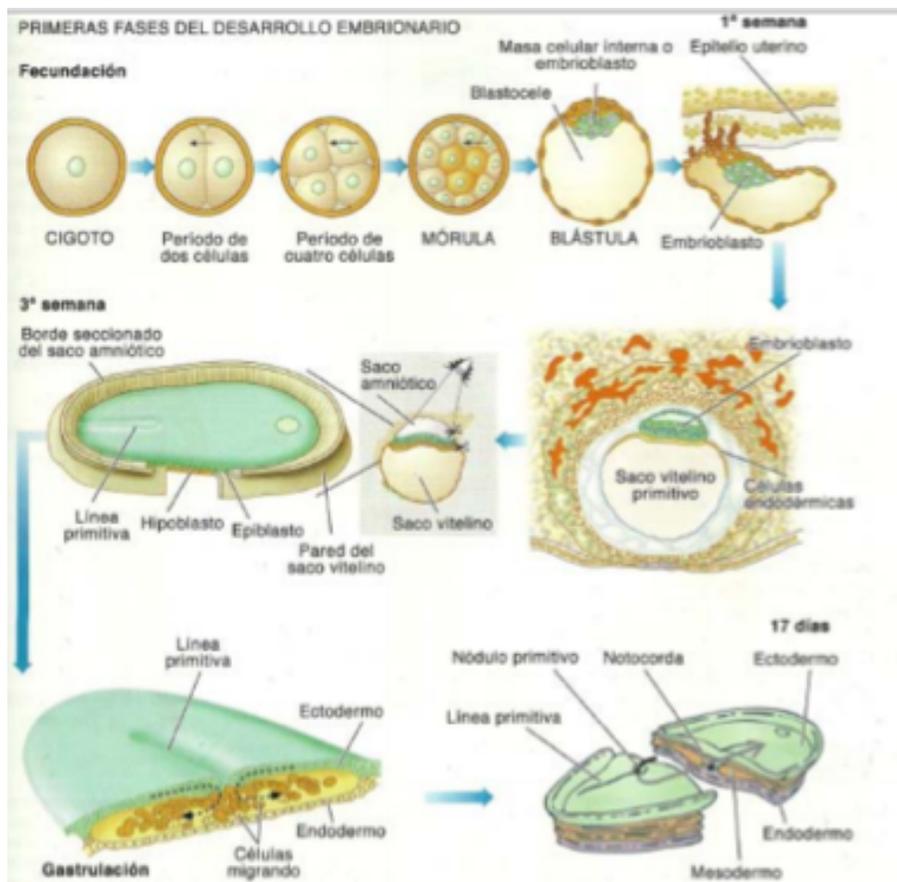


Figura 8. Fases del desarrollo embrionario
Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/resumentemas8al11psicobiologa-111031141109-phpapp01/95/resumen-temas-8-al-11-psicobiologa-2-728.jpg?cb=1320070303>

Durante las dos primeras semanas de da la fecundación y con esta la formación del cigoto, mórula, blástula y el embrioblasto que va a dar paso a dos capas de células: el hipoblasto y el epiblasto. En la tercera semana aproximadamente, inicia el proceso de gastrulación donde el embrión pasa a estar formado por tres capas germinativas: endodermo, mesodermo y ectodermo.

Gastrulación

El proceso general de la adquisición de la forma y características generales de la especie, es decir la **morfogénesis** del individuo, comienza en la fecundación con la formación del cigoto, pero la morfogénesis del sistema nervioso comienza en un periodo muy temprano de la vida (tercera semana embrionaria), con la gastrulación.

Así, como lo vimos antes, antes de la tercera semana, el embrión es un disco formado por 2 capas de células (epiblasto e hipoblasto), pero en este proceso esas dos capas pasarán a ser tres. La gastrulación comienza con la aparición de la línea primitiva, una línea central engrosada del epiblasto, donde sus células comienzan un proceso de migración (traslado) hacia esta línea central, generando un pliegue o **invaginación** para que se de formación de las 3 capas germinales: ectodermo (capa exterior), mesodermo (capa intermedia) y el endodermo (capa interior) (ver figura 9).

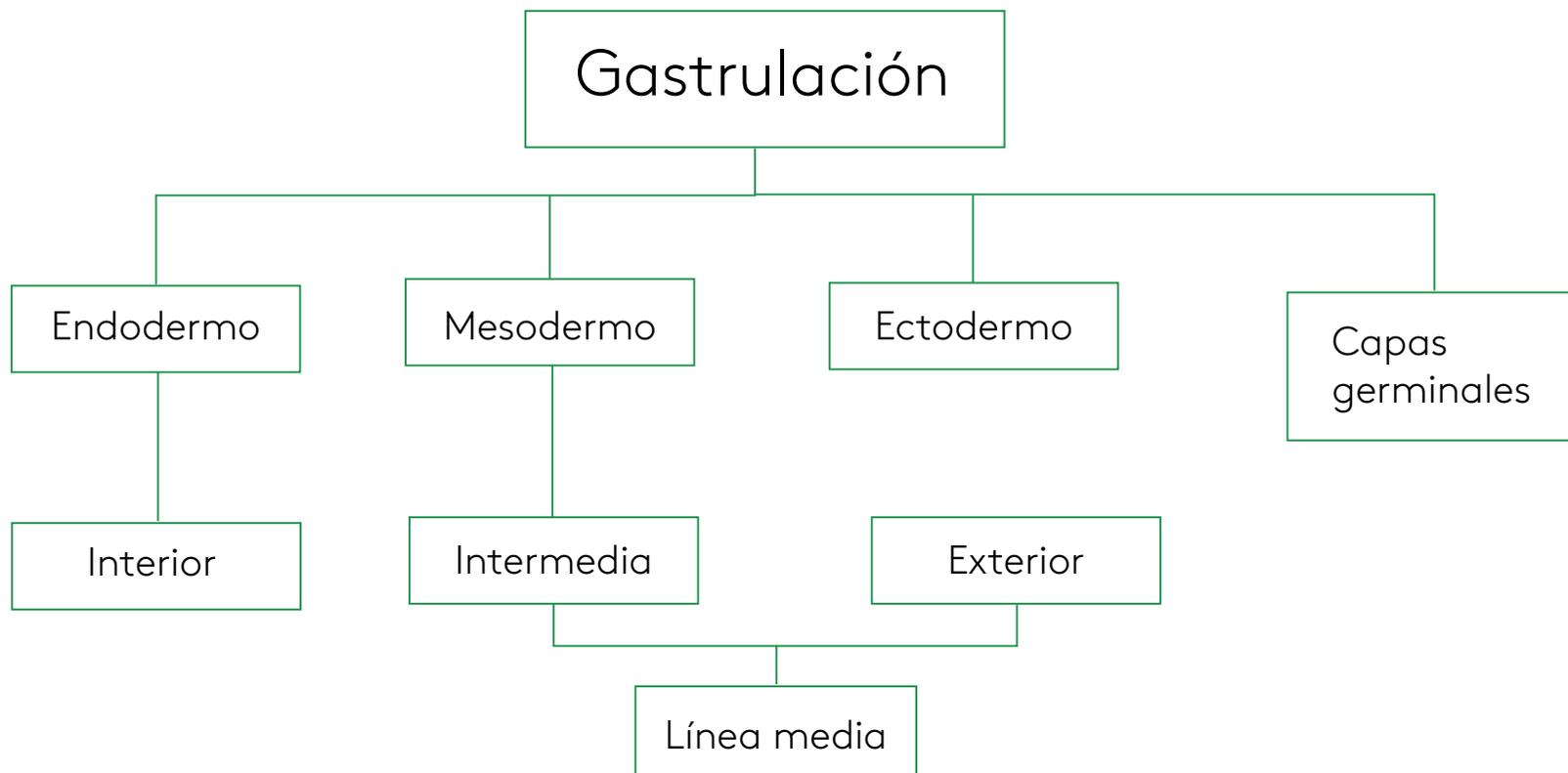


Figura 9. Las tres capas germinales. La imagen permite ver las tres capas que se forman en la gastrulación y el orden en el que se presentan.

Fuente: Propia.

De la placa germinal **ectodérmica** se van a derivar los órganos y estructuras que mantienen el contacto con el mundo exterior como el sistema nervioso central, el sistema nervioso periférico, el epitelio sensorial del oído, nariz, ojo y la epidermis (Sadler, 2007). A diferencia de esta capa, el sistema gastrointestinal (interno) se generará del **endodermo**, además de las diferentes partes del intestino (anterior, medio y posterior) y los pulmones. Por último, del **mesodermo** se van a desarrollar los huesos del esqueleto y los músculos que los protegen (ver figura 10).

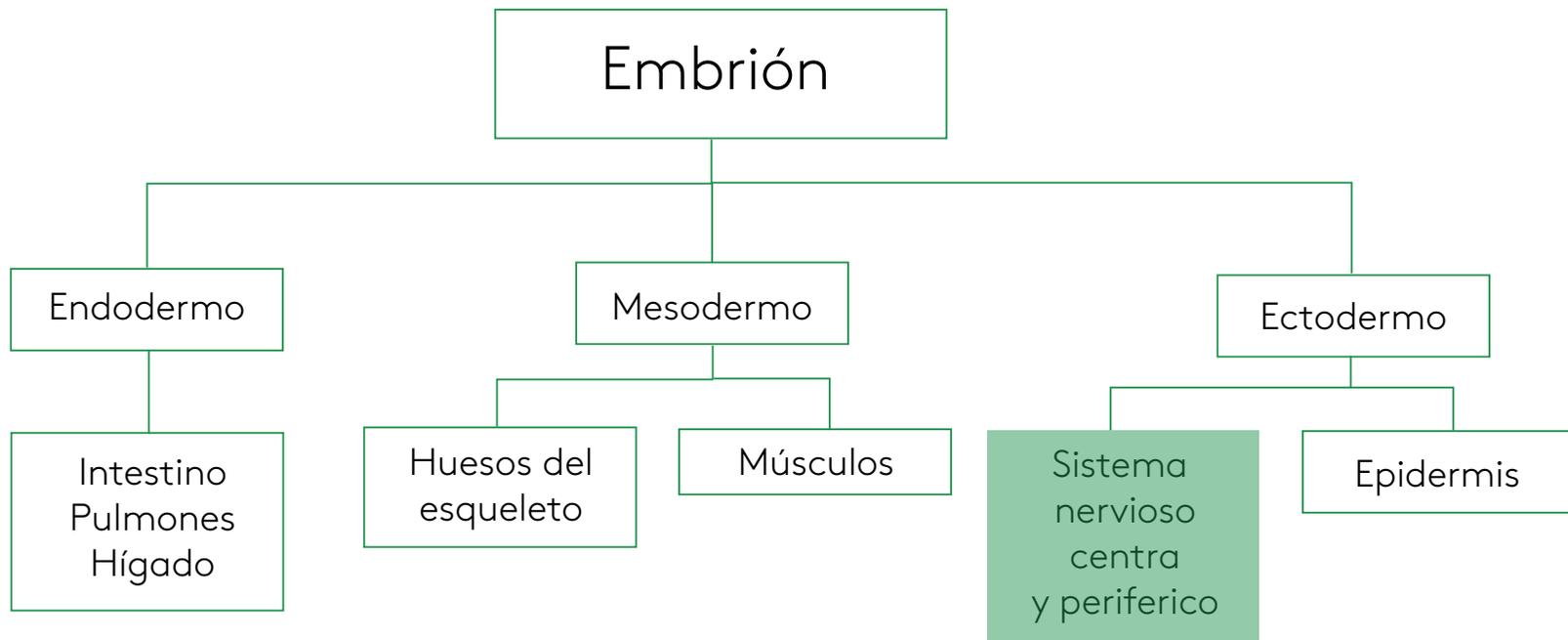


Figura 10. Diagrama del desarrollo de cada una de las capas germinales y los órganos que se derivan de estas Fuente: Propia.

Desde este punto nos centraremos en el desarrollo del sistema nervioso, por lo tanto, solo vamos a relacionar el desarrollo del ectodermo y un poco del mesodermo.

Por otro lado, durante el fin de la gastrulación (y el inicio de la neurulación) se forma la **notocorda**, un grupo de células del mesodermo en forma de cilindro. La notocorda se forma a partir del pliegue de la superficie o fosita primitiva, que luego se alargará para formar la línea primitiva (ver figura 11), siendo su formación un evento central en la gastrulación y esencial en el desarrollo subsecuente del sistema nervioso (**SN**), ya que pasará a definir la línea media del embrión y así el eje de simetría del cuerpo. Sin embargo, esta es una estructura transitoria ya que desaparece cuando el desarrollo inicial se completa. Cuando la gastrulación se ha completado, el embrión se convierte en una néurula.

Neurulación

Un par de días después de la gastrulación, cuando somos un disco formado por tres capas, empieza la **neurulación** (ver figura 11), un proceso en el cual la **notocorda** envía señales inductoras al ectodermo que hacen que un pequeño grupo de células se diferencien o conviertan en células precursoras neurales, a este grupo de células diferenciadas se les va a conocer como **placa neural** (ver figura 9). Esta placa es la precursora del SN, sus células han quedado determinadas para desarrollarse como células nerviosas y formarán tejido nervioso (Bear, 2008).

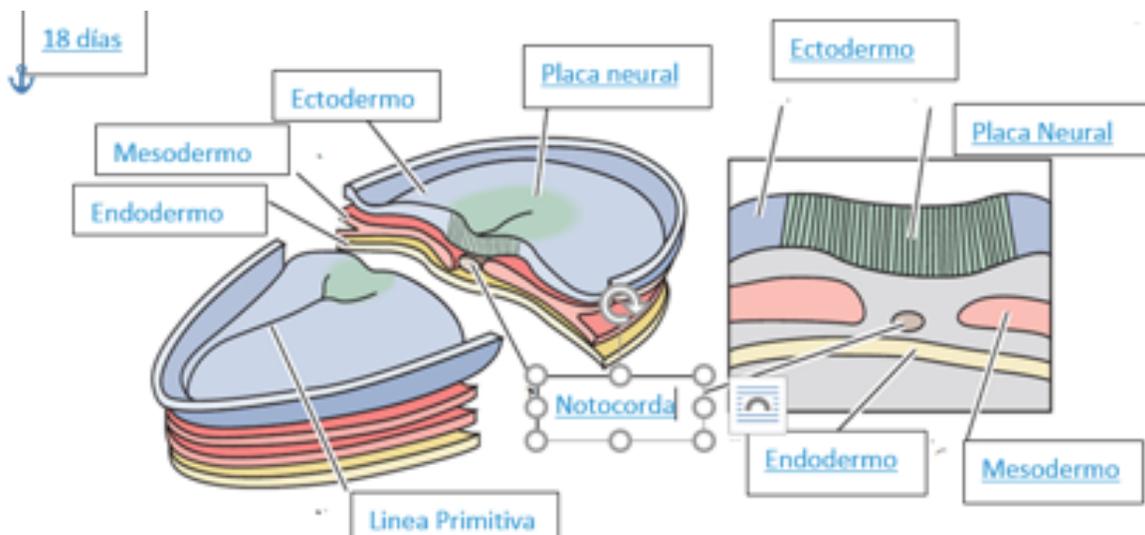


Figura 11. Proceso de Gastrulación. Diferenciación de las capas germinales y la formación de la notocorda
Fuente: Bear et al 2008.

A los 20 días de gestación aproximadamente, la placa neuronal empieza a doblarse sobre sí misma, es decir a plegarse formando un surco en ella denominado **surco neural**. Dos días después, los bordes laterales del surco llamados **pliegues neurales** se fusionan en la zona media de la placa haciendo que el surco se cierre y formando el tubo neural, quedando en comunicación con la cavidad amniótica gracias a los neuroporos craneal y caudal. Durante este periodo en el mesodermo alrededor de tubo neural se vuelve grueso y forma unas protuberancias prominentes en cada lado del tubo neural llamadas **somitas**. Estas regiones son fundamentales ya que es a partir de ellas que se desarrollan las 33 vértebras de la columna vertebral y los músculos esqueléticos relacionados.

Finalmente, en el día 24 (aproximadamente) se termina de cerrar el **tubo neural** (Figura 12).

Por otro lado, durante el neurodesarrollo también se genera una estructura llamada cresta neural, esta se genera en las partes externas de los pliegues neuronales, de la cual se forman y migran las células a la médula espinal, una vez el tubo neural se haya cerrado. Cuando emigran formarán un grupo de estructuras como los ganglios parasimpáticos y cadena simpática, las células de Schwann, células gliales, meninges, células musculares, tejido conectivo, entre otras estructuras. Pero principalmente da origen a los ganglios sensoriales y vegetativos componentes primordiales en el sistema nervioso periférico.

En conclusión, todo el sistema nervioso central se desarrolla de las paredes del **tubo neural** y todos los cuerpos neuronales en el sistema nervioso periférico de derivan de la **cresta neural** (ver figura 12).

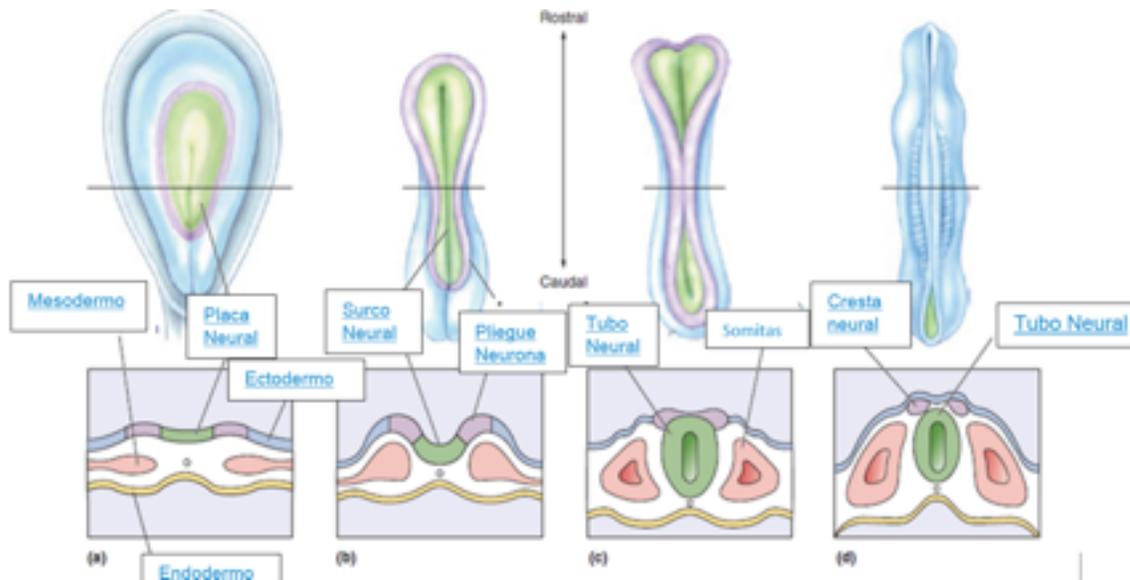


Figura 12. Formación del tubo Neural.
Fuente: Bear (2008).

a) 18 días después de la fecundación se crea la placa neural. B) a los 20 días se genera el surco neural y los pliegues neurales. C) A los 22 días, los pliegues se fusionan y forman el tubo neural, además se forman las somitas. D) A los 24 días se cierra completamente el tubo neural y se forma la cresta neural.

Organogénesis - Diferenciación de las vesículas primarias

Una vez se cierra completamente el tubo neural, en la región dorsal se desarrollan tres dilataciones llamadas **vesículas primarias**. La vesícula más rostral será el **prosencefalo** o encéfalo anterior, medialmente se encuentra la otra vesícula, llamada **mesencefalo** o encéfalo medio y caudal a esta se localiza la tercera vesícula primaria, conocida como **rombencefalo** o encéfalo posterior que se unirá a la región caudal (hacia la cola, o región de abajo) del tubo neural, la cual dará origen a la **medula espinal** (ver figura 13).

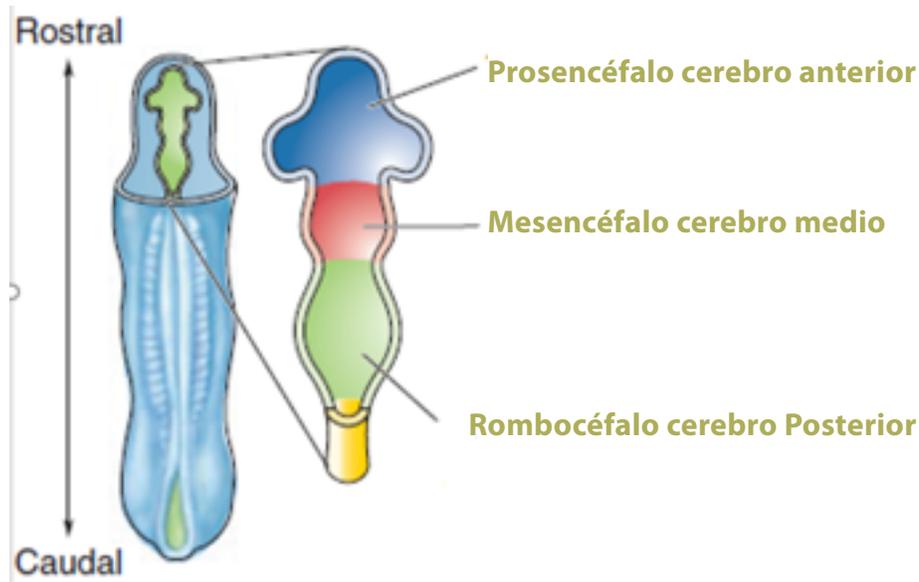


Figura 13. Representación a nivel rostral la distribución de las 3 vesículas primarias
Fuente: Bear (2008).

Cuando el embrión tiene 5 semanas, la primera vesícula (prosencéfalo) se dividirá en dos partes, **telencéfalo** y **diencéfalo**. El telencéfalo es el que ocupa más espacio en el encéfalo, debido a su gran tamaño dentro de la corteza cerebral. Se puede dividir en cinco lóbulos (frontal, occipital, temporal, parietal e insular). Por su parte, en el diencéfalo, se encontrarán estructuras importantes como el tálamo e hipotálamo.

Por su parte el **mesencéfalo** no se subdividirá, las estructuras principales que la componen son el techo y tegmento. Finalmente, el **romboencéfalo**, se subdividirá en el **metencéfalo** y el **mielencéfalo**. En el metencéfalo se encontrarán las estructuras del cerebelo y el puente, o protuberancia, y en el **mielencéfalo** estará el bulbo raquídeo (medula oblonga) (ver figura 14).

| División principal | Subdivisión | Estructuras principales |
|--------------------|--------------|-------------------------|
| Prosencéfalo | Telencéfalo | Corteza cerebral |
| | | Núcleos basales |
| | | Sistema límbico |
| | Diencéfalo | Tálamo |
| | | Hipotálamo |
| Mesencéfalo | Mesencéfalo | Techo Tegmento |
| Romboencéfalo | Metencéfalo | Cerebelo |
| | | Protuberancia |
| | Mielencéfalo | Bulbo raquídeo |

Figura 14. Subdivisión anatómica del cerebro desde las 3 vesículas primarias
Fuente: Carlson (2014).

Conclusión

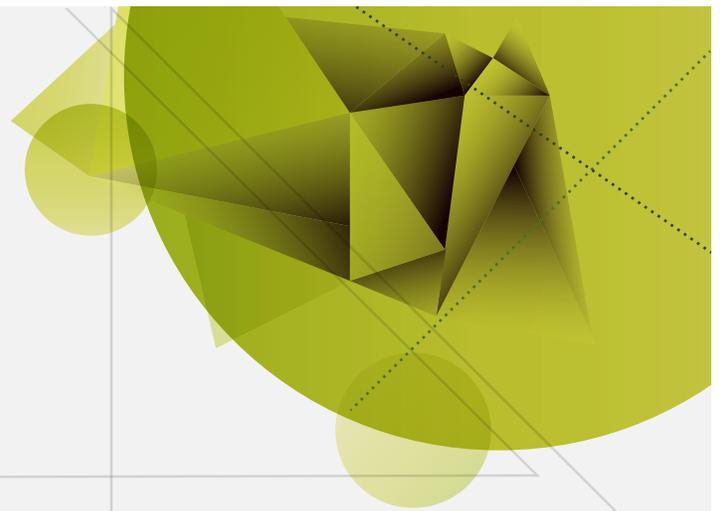
Como pudimos ver en toda la cartilla, a lo largo de los años las diferentes investigaciones han permitido el estudio del sistema nervioso desde lo macro hasta lo microscópico. Gracias a esto, podemos conocer los procesos embriológicos y el desarrollo del sistema nervioso. Este conocimiento nos permitirá entender cómo cualquier evento adverso que ocurra durante estas semanas puede afectar el desarrollo del feto y con esto alterar sus funciones al nacer, sean expresadas fenotípicamente o no. De esta manera, no solo nos permitirá comprender la importancia de conocer la historia clínica de nuestros pacientes sino también de un embarazo planeado, ya que así se podrán controlar factores como el consumo de ácido fólico para ayudar al cierre del tubo neural y con esto evitar malformaciones como la espina bífida o la anencefalia (El bebé nace con un cerebro subdesarrollado y cráneo incompleto); y cuidados correspondientes en el trascurso del embarazo.



1

Unidad 1

Como conocemos



Neuroanatomía Funcional



Introducción

En esta semana estudiaremos las células que hacen parte del sistema nervioso y permiten su adecuado funcionamiento: La neurona y la glía. La neurona es la unidad mínima de procesamiento de información del sistema nervioso y la glía es una célula de sostén que generan protección, nutrición y limpieza. Cada neurona tiene cuatro partes morfológicamente caracterizadas como lo son el soma o cuerpo neuronal, las dendritas, el axón y los terminales axonales. Dependiendo de forma de cada una de esas formas o la función que desempeñan específicamente pueden ser clasificadas.

Es fundamental conocer la función de cada una de estas células, su forma y clasificación para entender el sistema nervioso y su relación con el comportamiento humano tanto “normal” como patológico.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual se dedicará a sus lecturas, recursos e investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante logre una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planee los espacios y horas de estudios que dedicará al módulo, de esta manera evitará distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de una forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquellos términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas, si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.). No es adecuado estar levantándose de sus lugares de estudio para buscar algún material, esto genera distracción de las ideas en las que trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, etc.).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Recuerden que la cartilla no debe ser el único recurso de consulta del tema.

Tejido nervioso y su clasificación

Como todos los tejidos del cuerpo humano, el encéfalo está integrado por células, en este caso, células nerviosas o **neuronas**, las cuales van a comandar toda conducta o comportamiento, recibiendo la información del mundo externo y respondiendo adecuadamente al entorno que nos rodea. En todas las circunstancias será la comunicación entre las células cerebrales, las que permitirán que entendamos lo que pasa a nuestro alrededor y respondamos funcionalmente a las demandas de éste.

El encéfalo pesa entre 2500 y 3500 gramos y contiene aproximadamente 86 mil millones neuronas y 85 mil millones de células gliales, las cuales generan una gran red neuronal, que ocasionan los procesos cognitivos tales como memorizar un número de teléfono, atender los detalles de una pintura, leer, recordar una imagen o dibujar, estos son un mínimo de ejemplos que podemos dar, ya que en todas las actividades de la vida cotidiana se presenta una comunicación entre neuronas. En todo comportamiento y pensamiento están involucradas las neuronas y son muchos los factores que pueden generar alteraciones o daños en las misma, sean factores externos como el estrés, toxinas, fármacos, o lesiones; o internos como muta-

ciones genéticas, desequilibrio hormonal o de neurotransmisores.

Con los avances en el estudio histológico, y técnicas como la de Nissl y de Golgi, podemos reconocer las estructuras de la neurona, las cuales miden alrededor de 0,01-0,05 um de diámetro y se conectan con otras neuronas para transmitir la información sin tocarse, es decir se comunican por contacto, no por continuidad.

Definición y funciones

Neurona

La neurona es considerada la unidad elemental de procesamiento y transmisión de la información en el sistema nervioso. Las neuronas presentan muchas formas y diversidades, según el trabajo especializado que realizan (Carlson, 2005). Quiere decir que esta célula se encarga de recibir, codificar y transmitir la información a su sitio diana o meta en el encéfalo o regiones del cuerpo donde se requiera la información.

El tamaño y forma de la neurona son muy variados, pero en términos generales todas las neuronas tienen cuatro estructuras básicas, un **cuerpo celular** (soma), del cual se proyecta una o varias neuritas. Unas de estas neuritas, las cuales cumplen la función de recibir la información y transportarla con dirección al cuerpo celular reciben el nom-

bre de **dendritas**. La otra neurita con forma tubular y alargada que conduce la información desde el cuerpo celular hasta los botones terminales, se conoce como **axón**. Y son estos **botones terminales** los que permiten la comunicación de una neurona con otra.

Asimismo, alrededor de cada una de estas partes de la neurona se encuentra la **membrana neuronal** la cual contiene una capa bilipídica y separa la parte interna de la externa. A continuación, explicaremos detalladamente cada una de las estructuras de la neurona que acabamos de mencionar (ver figura 1).

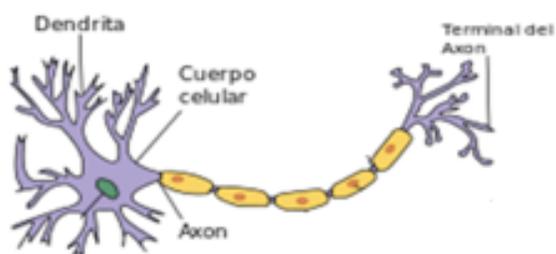


Figura 1. Partes básicas de la neurona, desde su soma, axón y dendritas
Fuente: Bear, Connors, Paradiso, 2008.

Para comenzar la descripción de las partes de la neurona, hablaremos del **soma o cuerpo celular**, esta es la parte central o centro metabólico de la célula nerviosa, es de forma esférica y su forma varía considerablemente según el tipo de neurona que sea (por ejemplo, piramidal o estrellada). En el interior presenta un líquido acuoso denominado citosol, el cual es una solución salina rica en potasio. Dentro del cuerpo celular existen estructuras envueltas por membranas las cuales se conocen como organelas, los más importantes son el núcleo, retículo endoplasmático rugoso, retículo endoplasmático liso, aparato de Golgi y las mitocondrias (no nos detendremos en este apartado, ya que

se describieron el semestre anterior), pero es importante recalcar que todas las partes internas, excluyendo el núcleo, se denominan citoplasma (ver figura 2).

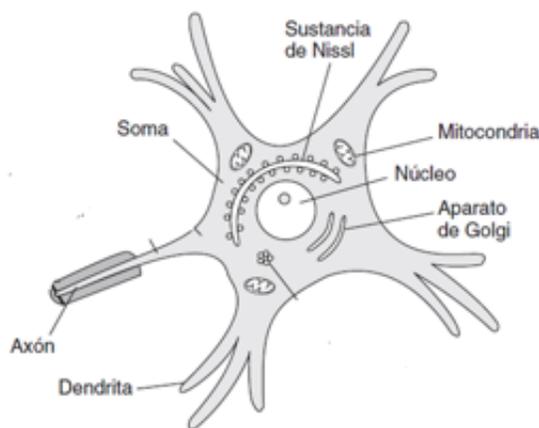


Figura 2. Principales componentes del cuerpo celular común de una neurona. Se han omitido el citoesqueleto del axón, los lisosomas y el terminal axonal
Fuente: Clark, Boutros, Méndez 2010.

Como se mencionó antes, del cuerpo celular se originan dos tipos de procesos, varias dendritas y un axón. La próxima estructura de la que vamos a hablar es de aquel único proceso: el axón.

El axón es una estructura tubular alargada, que sólo se presenta en las neuronas, siendo altamente especializada en la transferencia de información en puntos distantes del sistema nervioso. Todo **axón** tiene 3 partes, un comienzo (cono de implantación o zona de disparo), un punto medio que es el axón propiamente dicho, y por último un final que se denominará terminal axónico o botón terminal. El **cono de implantación** es el lugar en el que se genera el potencial de acción (proceso que veremos más adelante). El **terminal axonal** o botones terminales es el punto donde el axón se pone en contacto con otras neuronas para poder transmitir información, este punto en el cual se con-

tactan se denomina **sinapsis**, la cual puede ser axosomática (se conecta el axón o sus botones terminales con el soma), axodendrítica (se conecta el axón con una dendrita) o en muy pocas ocasiones axoaxónicas (se conecta el axón con otro axón) (ver figura 3).

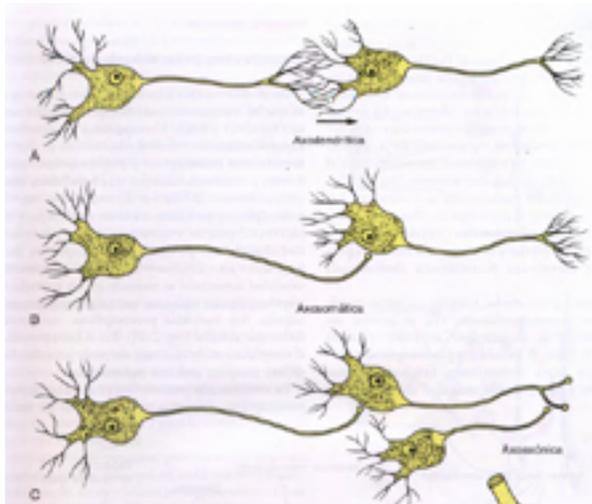


Figura 3. Formas en que pueden comunicar el axón con otras partes de la siguiente neurona
Fuente: Snell 2007.

En el axón no hay síntesis de proteínas porque no tiene retículo endoplasmático rugoso, ribosomas o aparato de Golgi, es por eso que las proteínas necesarias en el axón son producidas en el soma y conducidas a través del axón a donde se necesitan. Los axones en su mayoría están cubiertos por **mielina** (los axones muy pequeños no están mielinizados). La mielina es generada por los oligodendrocitos o las células de Swan (células gliales) y aísla los axones, permitiendo que el impulso nervioso viaje con mayor rapidez. Su composición es 80 % de lípidos y 20 % de proteínas. Sin embargo, el axón, no es cubierto continuamente sino por partes, es decir por segmentos de aproximadamente 1 mm de longitud cada uno, y los espacios entre una vaina de mielina de

aproximadamente 1-2 μm (un μm o micrómetro es la millonésima parte de un metro, o una milésima de milímetro) se denominan **nódulos de Ranvier** (Carlson,2014).

Terminando el axón se encuentra el **terminal axonal o botones terminales**, el cual permite que la neurona realice la sinapsis. Los botones terminales permiten la comunicación entre neuronas gracias a las **vesículas sinápticas**, pequeñas esferas recubiertas por membrana, únicas del terminal axonal, que contienen los neurotransmisores, sustancias de las que hablaremos más adelante.

Finalmente, la estructura que falta son las **dendritas**, ramificaciones parecidas a las ramas de un árbol que emergen del cuerpo celular, siendo su función principal la de recibir los mensajes que se transmiten a través de sinapsis, es decir que son las antenas de la neurona. El árbol dendrítico o cantidad de dendritas no tiene un número exacto, debido a las variaciones de tamaño, número y extensión por factores como el aprendizaje, estas variaciones darán lugar a varias clasificaciones neuronales que veremos a continuación.

Es necesario tener en cuenta que el número de entradas sinápticas que la neurona recibe depende de la complejidad de la arborización dendrítica. Algunas dendritas tienen pequeñas bolsas que emergen de ellas llamadas **espinas dendríticas**, que son pequeñas protuberancias que brotan de las dendritas y en las cuales los botones terminales hacen sinapsis. Las espinas se caracterizan por tener una cabeza (volumen de aproximadamente 0,001 a 1 μm^3) conectada a la neurona por un cuello (diámetro menos que 0,1 μm), y ser extremadamente flexible, es decir, que pueden cambiar de

forma por factores externo como fármacos o el mismo aprendizaje. En general, las espinas se clasifican, de acuerdo con su morfología, en espina champiñón, fina, *stubby* y ramificada (ver figura 4).

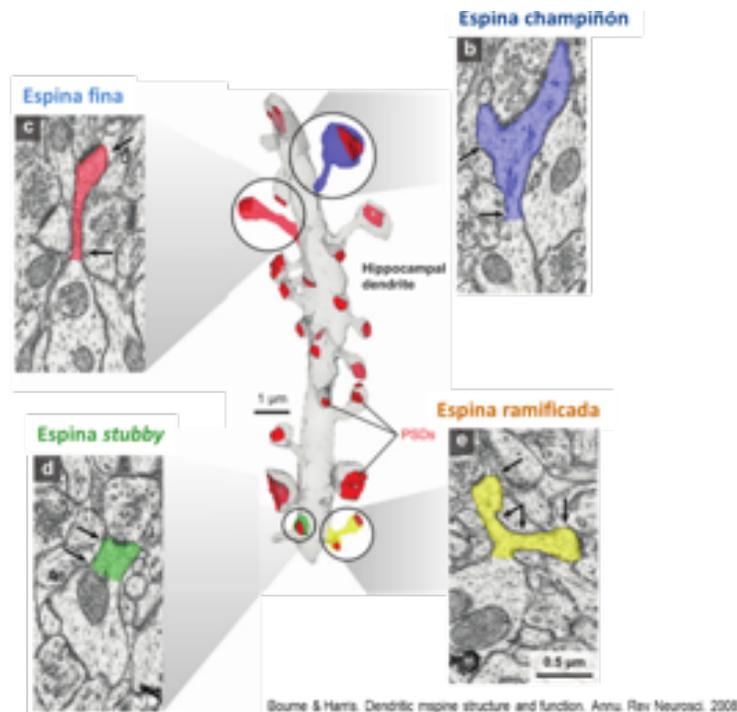


Figura 4. Clasificación de espinas dendríticas
Fuente: Bourne & Harris 2008.

La imagen muestra en el centro una dendrita de la cual emergen varias espinas dendríticas en todas sus formas.

Membrana celular

Como se había mencionado previamente, existe una estructura que separa los componentes internos (organelos) de los agentes del medio externo celular, conocida como la **membrana celular**. Esta membrana neuronal es una bicapa lipídica compuesta de fosfolípidos, glucolípidos y proteínas. Específicamente, su estructura está compuesta por una capa interna y una externa de moléculas proteicas, cada una de estas capas tiene aproximadamente 2,5 nm de grosor y en medio de estas se presenta una capa lipídica que mide 3 nm.

Esta capa lipídica se forma con dos hileras de moléculas fosfolipídicas, las cuales presentan dos extremos: una cabeza hidrofílica, que presenta afinidad por el agua y está en el exterior; y una la cola hidrofóbica, no presenta afinidad con el agua y están en el interior de la bicapa. Esta característica hace que la membrana sea hidrofóbica y no permita el paso de moléculas o sustancia y por lo tanto necesite proteínas específicas para esto (ver figura 5).

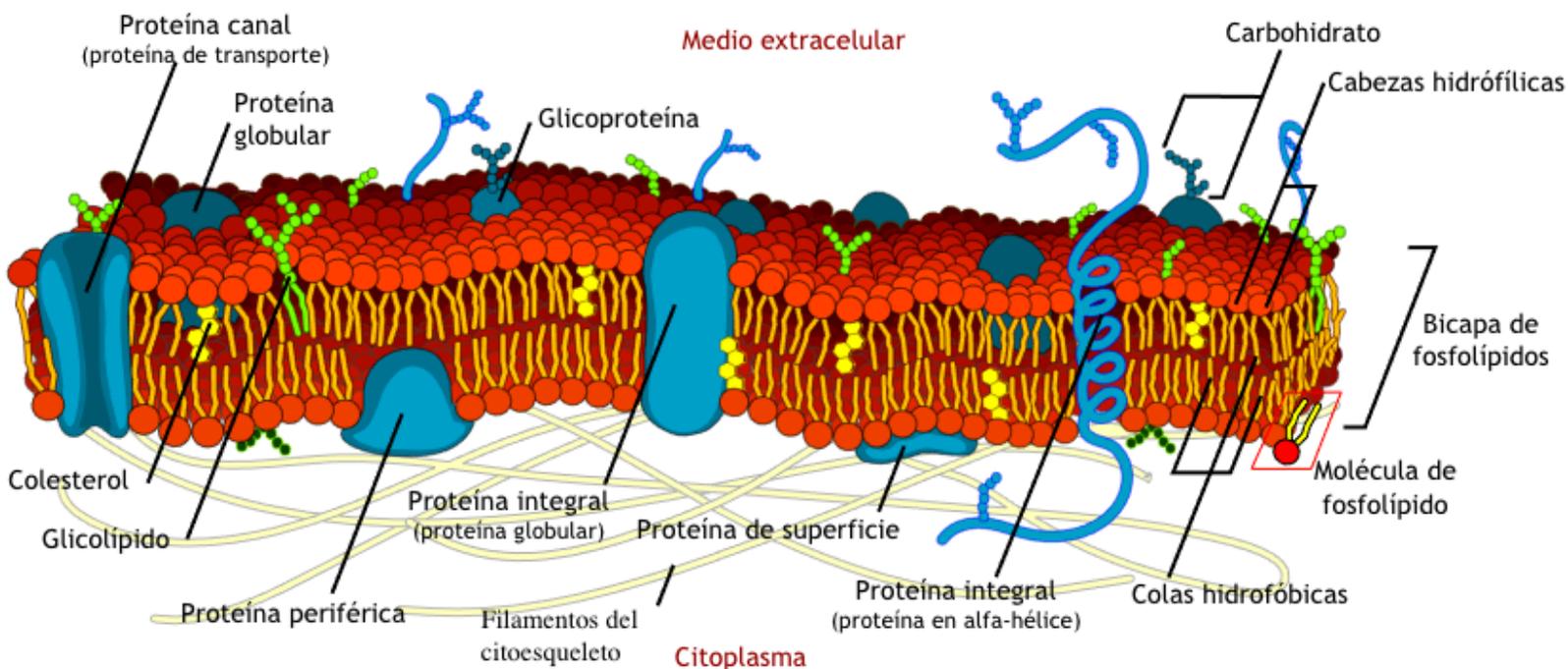


Figura 5. Membrana celular con sus componentes, cabezas hidrofílicas e hidrofóbicas, las proteínas y los canales específicos

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Cell_membrane_detailed_diagram_es.svg

La membrana neuronal funciona como una barrera hidrófoba (insoluble en agua), además de separar el medio interno del externo, delimita el citoplasma y excluye algunas sustancias presentes en el medio extracelular, permitiendo el paso de otras. Pero, ¿cómo logra estas tres funciones? Primero por su composición de fosfolípidos que son ácidos grasos unidos a un grupo fosfato que evita el agua, por lo que no permite el paso de iones y otras pequeñas moléculas hidrosolubles. Asimismo, delimita el citoplasma porque funciona como nuestra piel generando una barrera que impide que los compuestos que son dañinos entren en a la célula y los componentes benéficos salgan sin ninguna restricción.

Finalmente, si los fosfolípidos impiden el paso de cualquier sustancia de adentro hacia fuera o viceversa, ¿cómo permite el paso de ciertas moléculas necesarias para la célula? Esto lo hace porque también está compuesta por **proteínas transmembrana** (que atraviesan la membrana) especializadas, entre las que se encuentran los **canales iónicos** (ver figura 6), que forman poros acuosos o canales en la membrana que permiten el paso de iones a través de ella, obviamente el movimiento de iones a través de la membrana celular está regulado por varios factores como las bombas o la energía generada por las mitocondrias.

De esta manera se puede hablar de que la permeabilidad de la membrana a un determinado ion depende del número de canales iónicos abiertos que permiten el paso de ese ion a través de ella.

Pero, ¿y dónde está la membrana neuronal? La respuesta es sencilla, la membrana neuronal se encuentra alrededor de TODA la neurona, la diferencia radica en los canales, dependiendo de la región y su función, habrá cierto tipo de proteínas transmembrana en mayor o menor cantidad.

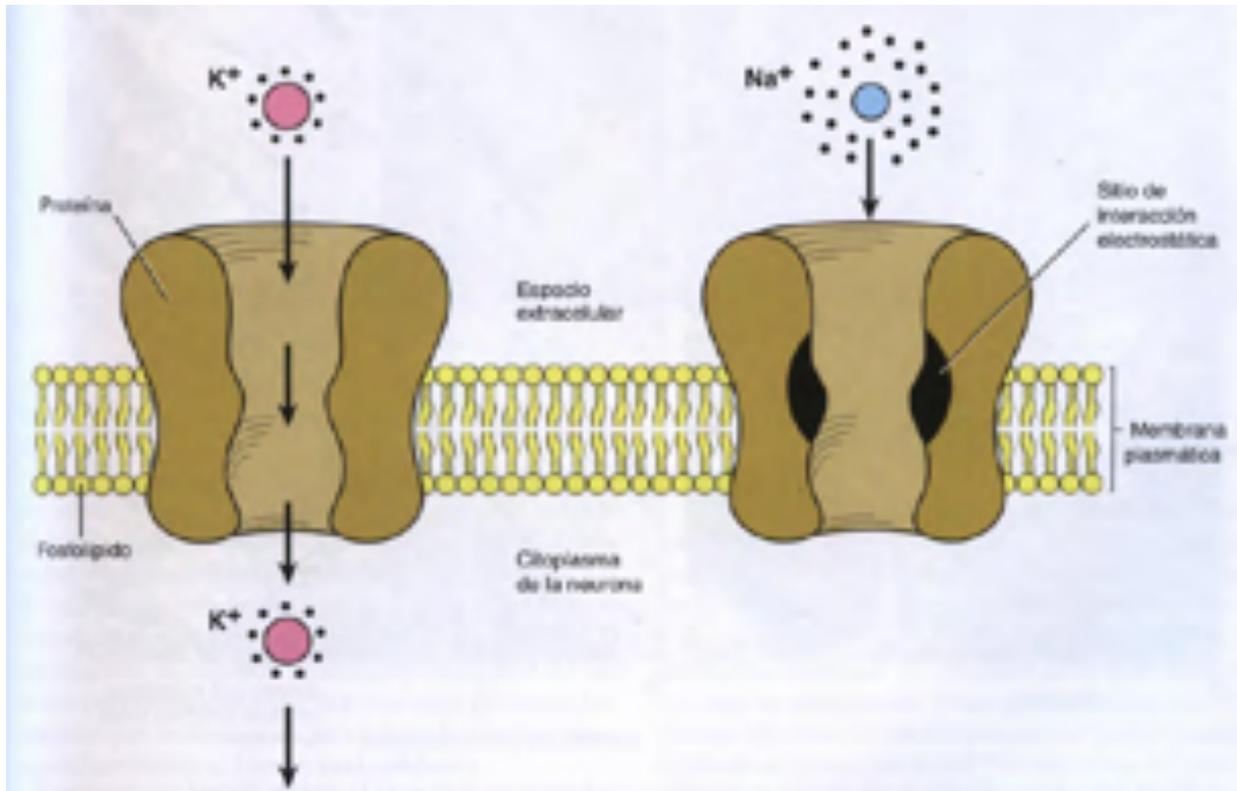


Figura 6. Permeabilidad iónica de la membrana Plasmática, el diagrama muestra la interacción con el agua y la bicapa

Fuente: Snell 2007.

Asimismo, como ya se mencionó, la membrana presenta una separación de los componentes internos y externos, pero debemos tener en cuenta que las moléculas presentes en los dos espacios pueden presentar una carga eléctrica (ion), la cual puede diferenciarse en positivo (catión) o negativo (anión), esta diferencia de cargas en el espacio externo y el espacio interno se denomina potencial de membrana. La carga eléctrica que se presenta es muy baja en comparación de una pila de calculadora, por eso se expresa en milivoltios (mV). Esta información la ampliaremos en la siguiente semana.

Con esto, podemos entender que “las **neuronas** son las que perciben modificaciones en el medio ambiente, comunican tales modificaciones a otras neuronas y comandan las respues-

tas corporales a esas sensaciones” (Bear, et al ,2008). Pero, al igual que nuestro cuerpo, las neuronas tienen un esqueleto que les permite cumplir con sus funciones y darle forma, a este esqueleto se le conoce como citoesqueleto.

Citoesqueleto

El citoesqueleto es una matriz de filamentos proteicos insolubles, no membranosos (sin membrana) entrelazados y extendidos a través del citoplasma, que determina la forma de las células y es responsable de la distribución asimétrica de las organelas, siendo fundamental para la estabilidad y función de los procesos neuronales. El citoesqueleto está constituido por tres clases de estructuras filamentosas: los microtúbulos, microfilamentos y neurofilamentos (ver figura 7).

Los **microtúbulos** están compuestos por proteínas llamadas tubulina, miden alrededor de 20 nm, son grandes y se distribuyen a lo largo de las neuritas. Su función principal es permitir el movimiento de las vesículas y el transporte de sustancias del soma a los terminales axonales.

A diferencia de los microtúbulos, los **neurofilamentos**, tienen un diámetro aproximado de 10 nm, presentan un tamaño intermedio entre microtúbulos y microfilamentos, pero también son mucho más fuertes que los dos anteriores. Se encuentran en el soma, dendritas y, principalmente, en el citoplasma del axón y su función principal es dar la estructura tridimensional interna de la célula y mantener la forma del axón.

Por último, los **microfilamentos** están compuestos por una proteína llamada actina, presentan forma de trenza, se encuentran en toda la neurona, pero en mayor cantidad

en las neuritas y participan en el cambio de la forma de la célula y los movimientos celulares.

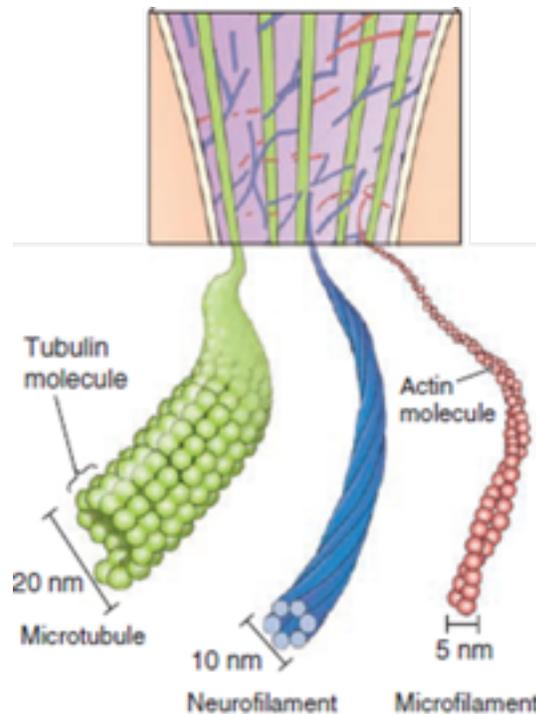


Figura 7. Citoesqueleto neuronal. El Citoesqueleto está compuesto por microtúbulos, microfilamentos y neurofilamentos

Fuente: <http://oi62.tinypic.com/ous5lt.jpg>

Hasta el momento se han descrito las partes de la neurona, la membrana celular con sus funciones de protección y transporte iónico y las características que le dan la forma (citoesqueleto). Pero con 86 mil millones de neuronas en el sistema nervioso, es necesaria una clasificación, para así identificar sus funciones como un conjunto, en interrelación con otras neuronas, y no de forma individual.

Clasificación neuronal

En nuestro sistema nervioso hay 86 mil millones de neuronas con las regiones morfológicamente identificadas que ya vimos

anteriormente, pero pueden ser clasificadas por sus características, ya sea por el número de neuritas, distribución en el encéfalo, funciones específicas, conexiones que realiza con otras neuronas en regiones diferentes del encéfalo, el neurotransmisor liberado o el tamaño (longitud) del axón. Pero estas no son las únicas clasificaciones, ya que de estas clasificaciones se pueden desprender otras subdivisiones. En el siguiente apartado vamos a mencionar algunas de las clasificaciones neuronales principales.

Clasificación por el número de neuritos

Las neuronas se pueden clasificar según el número total de neuritas (axones y dendritas) que surgen del soma. Una neurona con un único prolongamiento saliendo del soma, que se ramifica en dos nuevos prolongamientos, es decir que tiene una única neurita se llama **unipolar**. Aquella con un único prolongamiento saliendo del soma, que se ramifica en dos nuevos prolongamientos, donde uno de los prolongamientos va en dirección a alguna estructura periférica y el otro para el SNC, es llamada neurona **pseudounipolar**. Por el contrario, si hay dos neuritas emergiendo del soma, la neurona es **bipolar** y si hay tres o más (varias dendritas, un axón) se conocerá como neurona **multipolar** (ver figura 7). La mayoría de las neuronas del cerebro son multipolares (Bear et al 2008) por la conexión que genera entre diferentes neuronas.

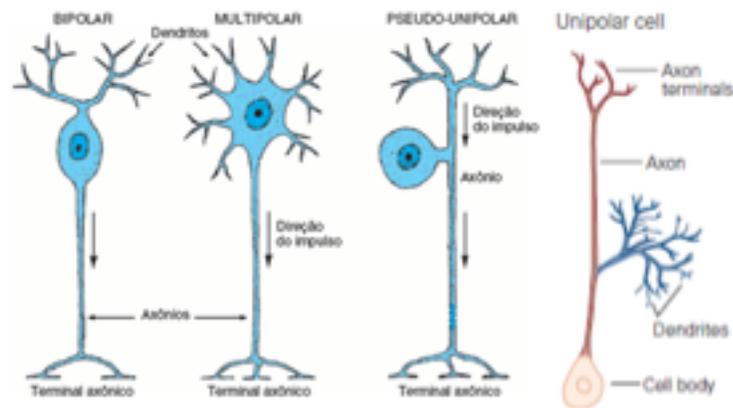


Figura 8. Clasificación según el número de neuritas

Fuente: http://1.bp.blogspot.com/_SBO4k-8eZTI/SHIN5BtREMI/AAAAAAAAA2k/tGDgoPOn4xY/s400/neurona+3.JPG

En la imagen se puede ver los tres tipos de neuronas por su clasificación por número de neuritas: bipolar (dos prolongaciones), multipolar (varias dendritas emergiendo del soma y un único axón), pseudounipolar (una prolongación dividida en dos, una va al SNC y la otra al SNP) y unipolar (una prolongación dividida en dos, ambas van al mismo sistema).

Clasificación según dendritas

Otra de las formas de clasificación, es dada por la forma de las dendritas, aquí podemos encontrar neuronas **estrelladas**, que se caracterizan por poseer un árbol dendrítico grande y cuerpo neuronal en forma de estrella. Las neuronas **piramidales**, llamadas así porque su

soma tiene forma de pirámide o triángulo, y porque además presentan varias dendritas basales (en la base de la neurona, del soma de esta) y una dendrita apical (emerge del soma y se proyecta lejos del mismo hacia arriba) (ver figura 9). Estas neuronas se encuentran en gran cantidad en la corteza cerebral y el hipocampo.

Por otra parte, están las células de **Purkinje**, las cuales se caracterizan por tener una gran arborización dendrítica, es decir que pueden generar muchas sinapsis. Estas neuronas se encuentran en su mayoría en el cerebelo.

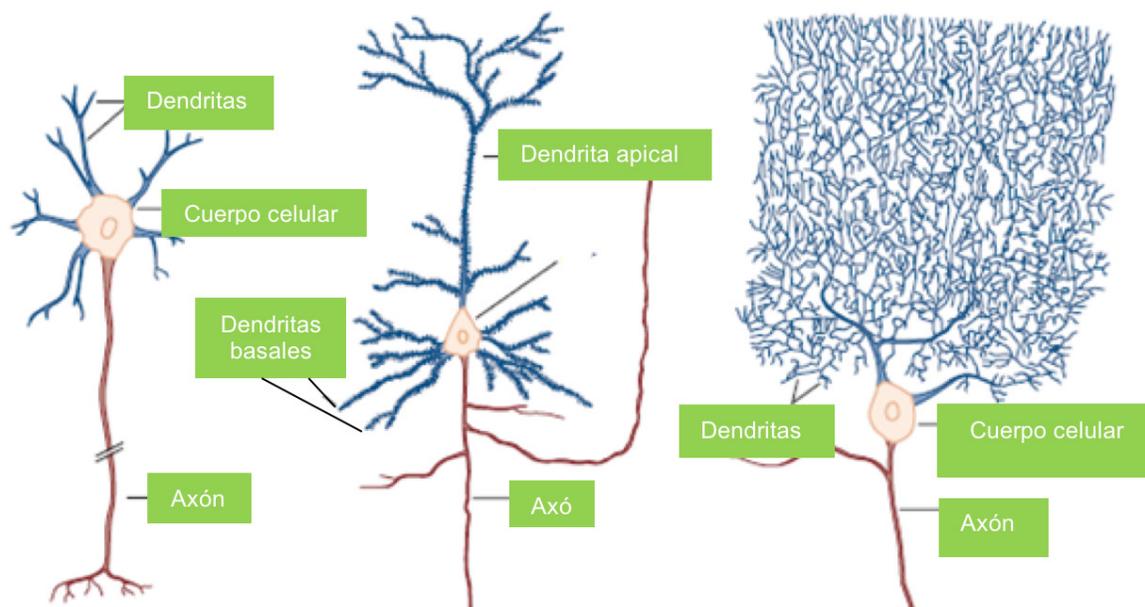


Figura 9. Clasificación por las dendritas
Fuente: Propia.

De izquierda a derecha se encuentran una neurona estrellada, una piramidal y una de Purkinje (que recibe su nombre por su descubridor).

Por otra parte, cuando una neurona presenta espinas dendríticas se denominarán **espinosas** y cuando no tienen se llamarán espinosas.

Clasificación según su función

Las neuronas también pueden ser clasificadas según su función. En esta sección encontraremos las **neuronas sensoriales** las cuales captan la información del entorno a través de los órganos de los sentidos y la conducen al Sistema Nervioso Central (ver algo, sentir que pisamos una puntilla, sentir que nos quemamos, etc.). Contrario a estas, están las neuronas **motoras (o motoneuronas)** las cuales llevan la información del SNC a la periferia para generar la conducta (levantar el pie cuando pisamos la puntilla, o retirar la mano cuando

sentimos la quemadura). Es decir que, la neurona sensorial en contacto con la piel percibe lo que pasó en el medio (pisamos una puntilla) y lleva esta información a una neurona motora en el SNC para que esta lleve la información a un órgano del SNP (el músculo, por ejemplo) y responda de manera adecuada (levantemos el pie). Por otra parte, cuando una neurona se comunica con otra neurona, y no con el músculo como en el caso de las neuronas motoras, se llamarán **interneuronas** (ver figura 10), las cuales se encuentran ubicadas en el sistema nervioso central. Podemos encontrar dos tipos de interneuronas, las primeras interneuronas locales (Golgi II) que llevan información a neuronas cercanas, ubicadas en la misma región, y las **interneuronas de proyección** (Golgi I) que se comunican con neuronas ubicadas en regiones encefálicas distante, es decir que se proyectan a otros lugares del encéfalo.

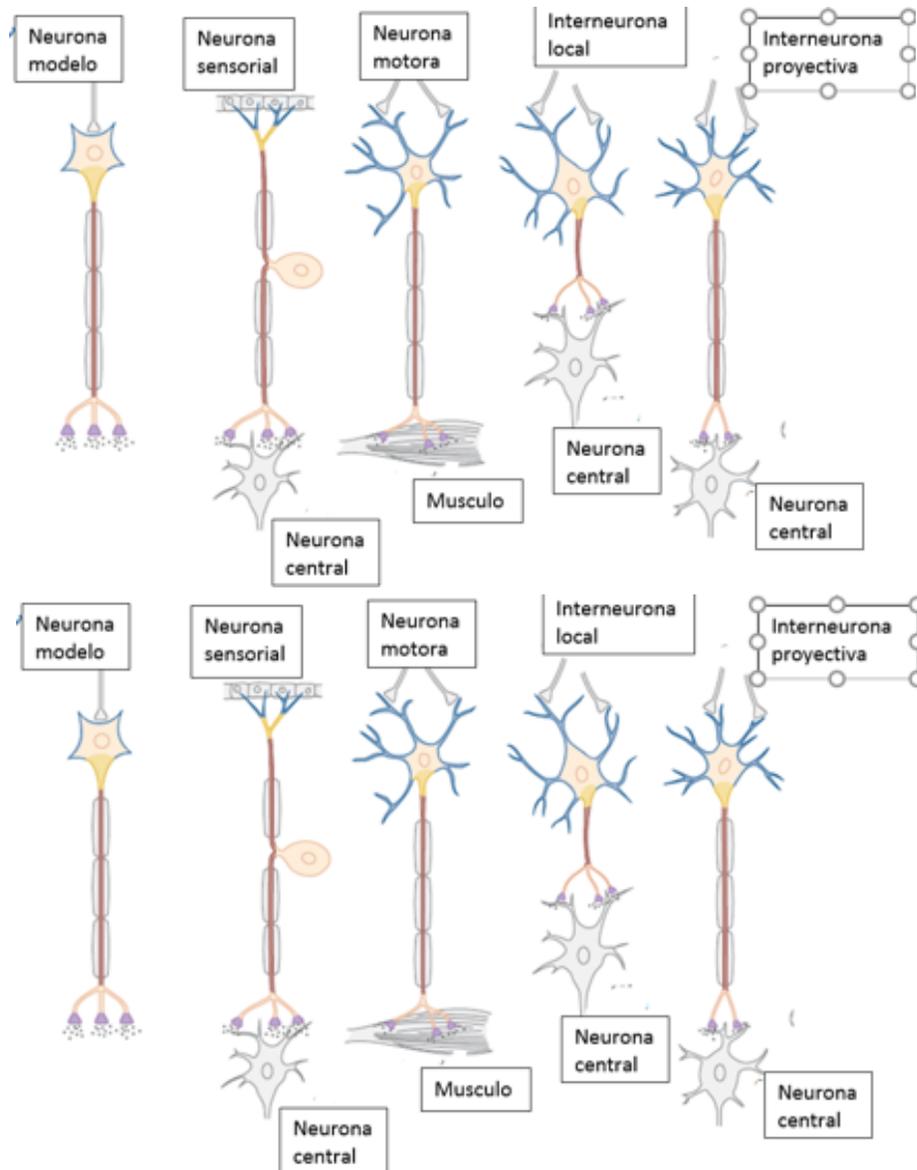


Figura 10. De izquierda a derecha. Neurona sensitiva, recibiendo información, neurona motora conectando con el músculo. Interneurona local conectando con una neurona próxima
Fuente: Kandel 2014.

Clasificación según el neurotransmisor

Finalmente, las neuronas pueden ser clasificadas por el neurotransmisor que liberan. En este sentido, una célula que libera **dopamina** va a recibir el nombre de neurona dopaminérgica, o si libera **serotonina**, serotoninérgica y así sucesivamente.

En conclusión, “todo comportamiento es mediado por conjuntos específicos de neuronas interconectadas, y a la función comportamental de cada neurona está determinada por sus conexiones con otras neuronas” (Kandel, Schwartz, Jessell, Siegelbaum, & Hudspeth, 2013).

Glía

Las neuronas solo componen la mitad de las células en el sistema nervioso, mientras que el resto está constituido por células de sostén o glías, las cuales tienen como función principal apoyar la labor de las neuronas. Aunque la función de estas células sigue llamándose “de apoyo”, sin esta célula el cerebro no podría funcionar de manera adecuada.

Las células gliales controlan el suministro de nutrientes que llegan a la neurona y el intercambio de mensajeros con otras neuronas. Asimismo, eliminan desechos de las neuronas que mueren debido a lesión o enfermedad, y por esto también tienen una función protectoras.

Existen varios tipos de estas células glía y cada una cumple una función determinada en el sistema nervioso. Las glías pueden clasificarse en dos grandes grupos, microglías y macroglías. La macroglía es de origen ectodérmico y se encuentran los astrocitos, oligodendroglías y células de Schwann. Mientras que la microglía comprende fa-

gocitos, que son parte del sistema inmune (Cardinali, 1991).

Macroglía

Astrocitos

Es una de las células más abundantes que se encuentran en el cerebro, su nombre se da por la forma de estrella que presenta; están ubicadas entre los espacios de las neuronas permitiendo una adecuada comunicación entre las neuronas, y se encargan de proporcionar soporte físico, alimento a las neuronas y limpiar los desechos del encéfalo.

Debido a la forma o estructura que presentan, algunas de sus prolongaciones se enrollan alrededor de vasos sanguíneos y otras se ubican sobre partes de la neurona, formando un puente entre los vasos y la neurona. Esto, con el fin de recibir glucosa desde los capilares, y por medio de procesos químicos reducirla a lactato (primera etapa del metabolismo de la glucosa), para luego distribuirla en el espacio extracelular y así lograr incorporarlo por la membrana y ser transportado hasta la mitocondria quien lo utilizara para generar energía y con esto permitir el funcionamiento de la neurona (ver figura 11).

Además de las funciones antes mencionadas, los astrocitos sirven como matriz que mantiene fija las neuronas en su lugar. Por otra parte, cuando deben generar la tarea de limpieza, viajan por el Sistema Nervioso Central extendiendo y retrayendo sus proyecciones conocidos como pseudópodos (falsos pies) para localizar el desecho, adsorberlo y descomponerlo. Cuando se ha eliminado el tejido muerto, las células formarán un entramado (una especie de malla) que ocupará el espacio vacío y un astrocito formará un tejido cicatrizante.

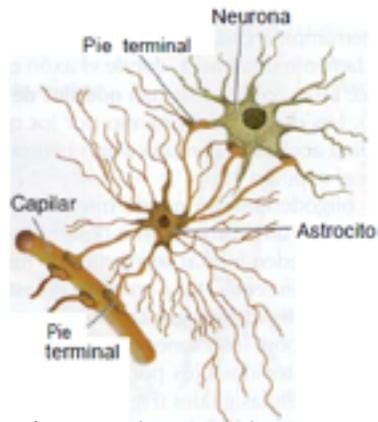


Figura 11. Astrocito rodeando un capilar sanguíneo y está en contacto con la membrana neuronal
Fuente: Abril et al 2009.

Oligodendrocitos

Esta célula glial presenta una función específica en el sistema nervioso central únicamente, formando un sistema de protección en la neurona a través de la creación de la mielina la cual recubrirá los axones de las neuronas del SNC para facilitar la conducción del impulso nervioso. Recordemos que la mielina presenta una composición de 80% lípidos y 20% proteínas, y no es continua, es decir que no se presentan en todo el axón, se interrumpe periódicamente dejando un pequeño espacio conocido como los nódulos de Ranvier en el cual la membrana esta descubierta. Un único oligodendrocito puede recubrir con mielina más de una neurona (su axón, por supuesto).

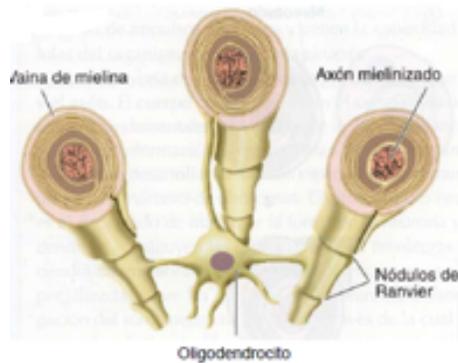


Figura 12. Oligodendrocito mielinizando células del sistema nervioso
Fuente: Abril et al 2009.

Células de Schwann

Las células de Schwann, van a producir la mielina al igual que los oligodendrocitos, pero en las neuronas del sistema nervioso periférico. Otra diferencia con los oligodendrocitos es que una célula de Schwann únicamente puede recubrir un axón, es decir que cada vaina de mielina está compuesta por una sola célula de Schwann, enrollada múltiples veces alrededor de ese segmento del axón, mientras que un oligodendrocito puede envolver con mielina más de dos axones a la vez. Las células de Schwann también ayudan a la degradación de los axones muertos y aquellos a punto de morir. Cuando sucede esto las células de Schwann se disponen en una serie de cilindros que funcionan como guías para el crecimiento de los axones de las neuronas aledañas. Esta función la podemos separar en dos, la primera ayuda a que el axón se alargue para alcanzar el objetivo y la segunda acción es generar que los axones dejen de prolongarse y comiencen a emitir botones terminales.

Microglía

Microgliocitos

Son pequeñas en comparación con las demás glías y se presentan distribuidas a lo largo del SNC en medio de las neuronas y las demás glías. Ayudan a la eliminación de sustancias nocivas haciendo una fagocitosis. Los fagocitos rodean y degradan neuronas muertas y a punto de morir. Pero, además, sirven como representantes del sistema inmunitario en el encéfalo, protegiéndolo de microorganismos invasores. Son las responsables primarias de la reacción inflamatoria reactiva al daño cerebral (Carlson, 2014).

Las células gliales presentan funciones de protección, sostén y alimentación a las neuronas para que generen su proceso adecuadamente. Los astrocitos limpian y nutren la célula, además de permitir la regulación de las sustancias en el espacio intersináptico. Los oligodendrocitos mielinizan los axones de las neuronas del sistema nervioso central y las células de Schwann mielinizan las neuronas del sistema nervioso periférico. Además, las micro glías por su ubicación se encargan del proceso de fagocitosis.

Conclusión

En conclusión, las células que conforman en Sistema Nervioso cumplen funciones específicas que permiten el adecuado funcionamiento del cuerpo y las respuestas a los estímulos externos. Sin embargo, estas células, sean neuronas o glías funcionan como un todo, es decir, su trabajo depende de otras células, que con sus características permiten que cada célula desempeñe la función para la cual fue hecha. Asimismo, tanto las neuronas como las glías pueden ser clasificadas por su forma y función.

2

Unidad 2

Introducción al
potencial de
membrana en
reposo



Neuroanatomía Funcional

Introducción

A lo largo de las anteriores semanas se ha hablado acerca de las neuronas y su desarrollo, clasificación y función, así como de las células de sostén que cooperan a la realización de un adecuado trabajo del sistema nervioso. No obstante, aún no hemos profundizado en el proceso de comunicación entre las neuronas que permitirá que el organismo entienda y responda a lo que está pasando a nuestro alrededor. Es decir, aun es requerido indagar en las siguientes preguntas orientadoras ¿cómo recibimos la información?, ¿cómo esa información se transmite a lo largo del cuerpo? ¿qué función cumple cada una de las partes de la neurona en la transmisión de información?, por eso el objetivo de esta semana es dar respuesta a esas preguntas.

A lo largo de esta semana profundizaremos en las propiedades de la membrana que permite el intercambio de iones necesarios para generar el potencial de membrana en reposo y de acción, explicando estos dos procesos paso a paso a partir de sus características y funciones.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual dedicara a sus lecturas o investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante presente una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planee los espacios y horas de estudios que dedicará al módulo, de esta manera evitará distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de una forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquellos términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas, si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.). No es adecuado estar levantándose de sus puestos para ir a buscar algún material, genera una pérdida de las ideas que se trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, ir al baño).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Recuerden que la cartilla no debe ser el único recurso de consulta del tema.

Introducción al potencial de membrana en reposo

En alguna ocasión nos ha sucedido que al andar descalzos lastimamos nuestros pies con tachuelas, puntillas u otro objeto punzante, lo cual genera una ruptura en la piel, dolor y como reacción levantamos rápidamente el pie, tratando de eliminar ese dañino estímulo. En este tipo de situaciones, la ruptura de la piel actúa como señal nerviosa que viaja por las vías sensitivas por medio de las neuronas sensoriales que reciben la información de la piel, para luego pasar esta información en la médula a las interneuronas que se conectan con áreas específicas de nuestro cerebro, en las que se interpreta la información como dolorosa y después mandan esta información a través de las neuronas motoras ubicadas en la médula espinal, que se conectarán con los músculos para generar la retirada rápidamente del pie del estímulo (ver figura 1).

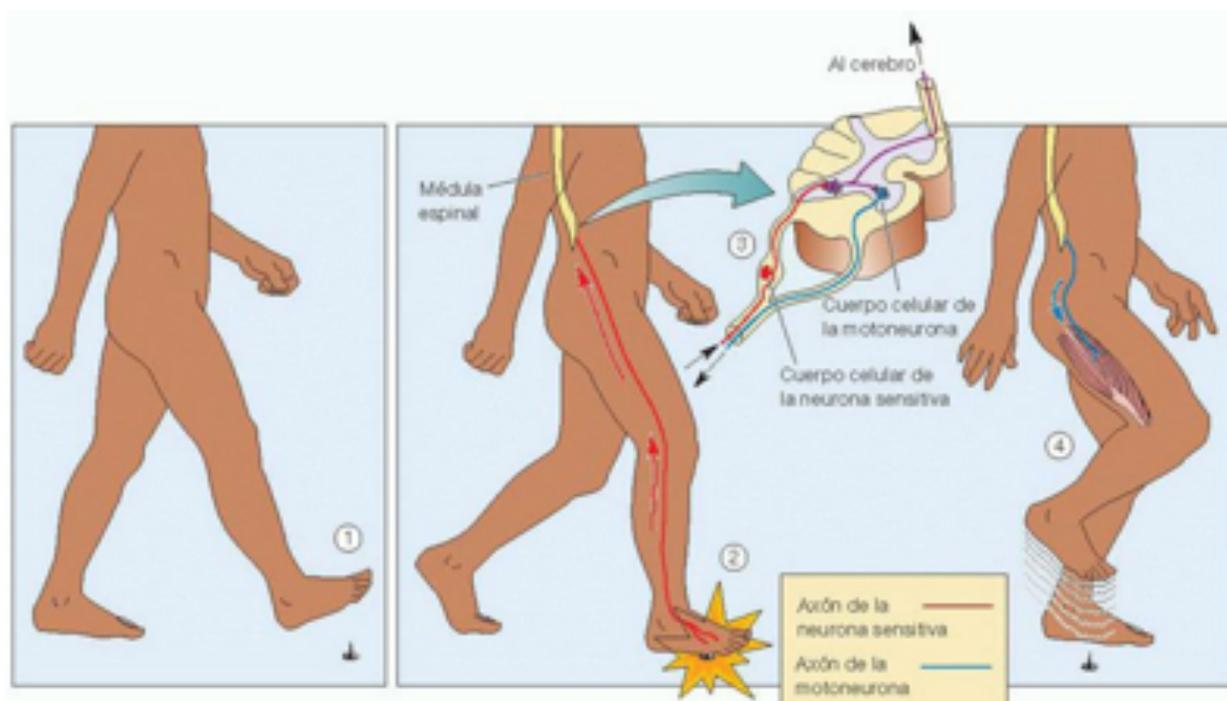


Figura 1 Transporte de información
Fuente: Bear, Connors, Paradiso, 2008.

Se ejemplifica la situación de pisar una tachuela o puntilla, como la información se es recibida por las neuronas sensitivas (color rojo), se comunica con interneuronas y se lleva a las áreas cerebrales o se conecta directamente con las motoneuronas (color azul) que se conectarán con los músculos para alzar el pie.

Con el ejemplo anterior observamos cómo son las neuronas las que reciben la información del medio, la comunican al encéfalo y llevan la respuesta correspondiente a otras neuronas que generarán el comportamiento adecuado, en este caso levantar el pie, pero lo mismo puede ocurrir cuando cogemos una olla caliente e inmediatamente la soltamos, o cuando cogemos un cable y nos pasa corriente. Todos estos ejemplos evidencian como el encéfalo comanda todo lo que hacemos, ahora, lo importante es saber cómo lo hace, cómo se produce la señal nerviosa y permite dicha comunicación. Para comprender cómo se comunican unas neuronas con otras, debemos “aprender cómo la membrana de las neuronas en reposo separa las cargas eléctricas, como la carga eléctrica puede ser redistribuida rápidamente a través de la membrana durante el potencial de acción y cómo el impulso puede propagarse de forma fiable a través del axón” (Bear, 2008).

Introducción al potencial de membrana en reposo

Según Bear (2009) existen tres “jugadores” principales en el potencial de membrana en reposo:

- a. Líquidos salinos a ambos lados de la membrana.
- b. La membrana en sí misma.
- c. Las proteínas que cruzan la membrana

(proteínas transmembrana).

A continuación, explicaré cada uno de estos elementos que son clave en la comprensión tanto del potencial de membrana en reposo como del potencial de acción, puesto que son fundamentales para que se generen.

Líquidos salinos a ambos lados de la membrana

Tanto el interior (citosol) como en el exterior de la membrana (líquido extra celular), presentan un componente común que es el **agua**, en la cual están disueltos átomos cargados eléctricamente llamado **iones**, los cuales son los responsables del potencial de membrana en reposo y el potencial de acción. Los iones son partículas cargadas eléctricamente constituidas por un átomo o molécula, la cual puede ganar o perder electrones. Los iones pueden ser positivos (**cationes**), o negativos (aniones).

Dentro y fuera de la célula podemos encontrar varios iones, pero en los que nos vamos a enfocar por ser fundamentales en el potencial de membrana en reposo y de acción son potasio (K⁺), sodio (Na⁺), calcio (Ca²⁺) y cloruro (Cl⁻). A lo largo de la cartilla entenderán la importancia de cada uno de ellos.

La membrana en sí misma

Cuando los iones o moléculas comparten afinidad con el agua se conocen como hidrófilas, mientras que, en el caso contrario, cuando no comparten afinidad con el agua se conocen como hidrófobos. Recordando lo que vimos en la cartilla anterior, la membrana impide el paso de sustancias gracias a las dos capas de fosfolípidos que la componen y la hacen impermeable. Los fosfolípidos presentan dos características, tener una cabeza hidrofílica polar que contiene el fos-

foro y una cola hidrofóbica apolar que contiene el átomo de hidrógeno y el de carbono. La cabeza se dirige al ambiente acuoso externo, mientras que las colas hidrófobas están hacia el centro (ver figura 2).

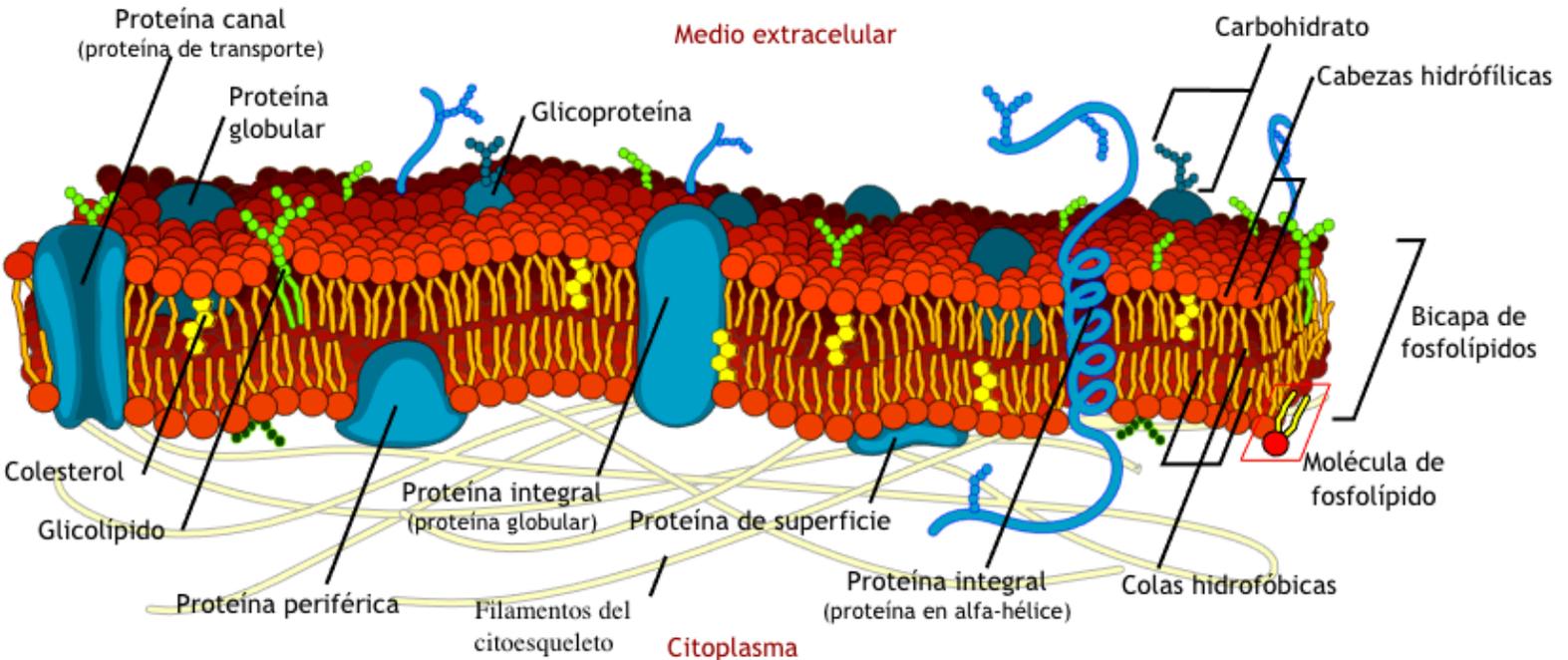


Figura 2. Membrana celular con sus componentes, cabezas hidrofílicas y hidrofóbicas, las proteínas y los canales específicos.

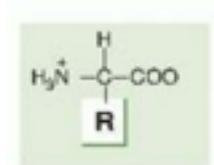
Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/eb/Cell_membrane_detailed_diagram_es.svg

Pero además de que su estructura principal sea la bicapa fosfolipídica y su función principal sea impedir el paso de sustancias, la célula necesita el intercambio de iones y otras sustancias, por lo cual la membrana también está compuesta por proteínas llamadas **proteínas transmembrana**, que como su nombre lo indica, son proteínas que atraviesan la membrana completamente y dependiendo del tipo y composición cumplen con funciones diferentes. Existen diferentes proteínas transmembrana, como la bomba sodio-potasio y los canales iónicos, ya sean de escape o con compuerta (ver figura 1). Tanto de los canales como de la bomba y sus funciones hablaremos a lo largo de esta cartilla y la siguiente.

Las proteínas que cruzan la membrana (proteínas transmembrana)

El potencial de reposo depende de proteínas especiales que atraviesan la bicapa fosfolipídica como acabo de mencionar. Estas proteínas aportan vías para que los iones atraviesen la membrana neuronal (Bear et al., 2008). Dichas proteínas están compuestas por diversas combinaciones de 20 aminoácidos diferentes (ver figura 3) y presentan una variedad de tamaños, formas y características químicas

A)



B)

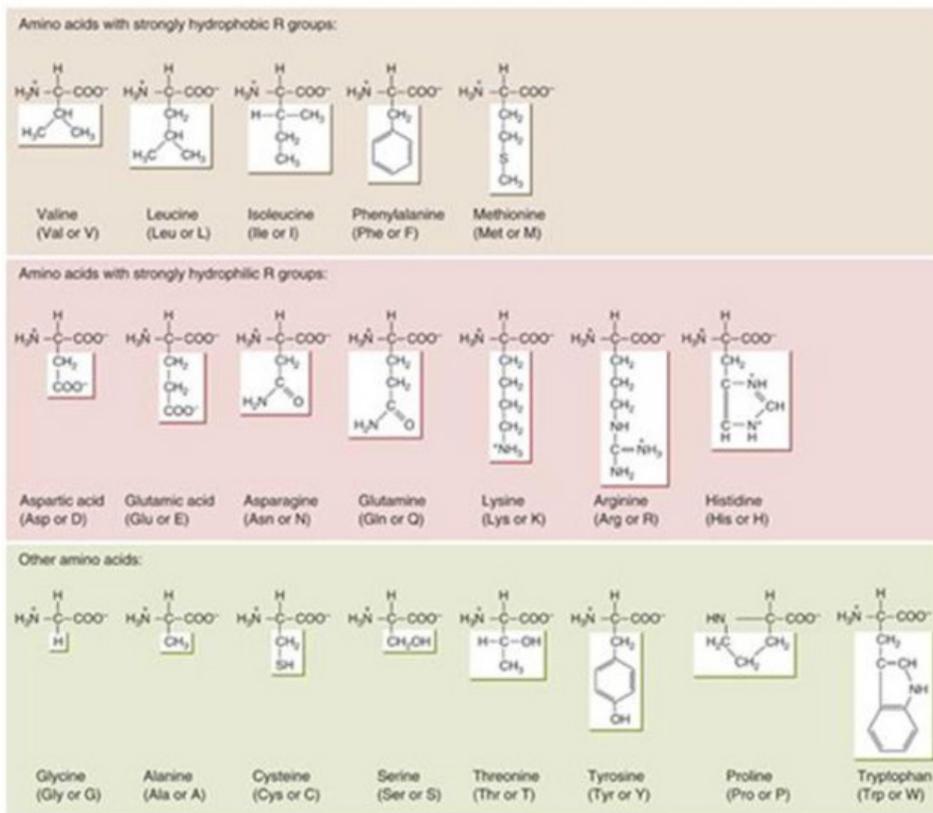


Figura 3. Aminoácidos.

Fuente: <http://slideplayer.com/slide/5051238/16/images/8/Protein+Structure+Amino+acids+Alpha+carbon+and+R+groups.jpg>

A) composición en común de los aminoácidos. B) los 20 aminoácidos diferentes que utilizan las neuronas para formar proteínas. Entre paréntesis aparecen las abreviaturas utilizadas para designar cada uno de los aminoácidos.

Así, dentro de estas proteínas transmembranas están los canales iónicos, ya sean de escape o con compuerta y las proteínas transportadoras como la bomba sodio-potasio.

Canales iónicos

Los canales iónicos son proteínas transmembrana que están afinados de forma óptima para el procesamiento rápido de la información (Bear et al 2008). La razón de esta cualidad es que contienen poros acuosos que cuando se abren permiten el paso selectivo de iones específicos a través de la membrana, es decir son los que dan origen a cambios selectivos en la permeabilidad de los iones fundamental para el potencial de membrana en reposo y de acción.

Los canales tienen tres propiedades importantes o fundamentales para el funcionamiento de la célula: reconocen y seleccionan los iones que podrán pasar a través de ellos (tienen sensores en su interior que son permeables a uno o varios iones), se abren y cierran en respuesta a diferentes estímulos (eléctricos, químicos o mecánicos) y finalmente conducen iones a través de ellos permitiendo que entren o salgan en gran número y en el menor tiempo posible (ver figura 4).

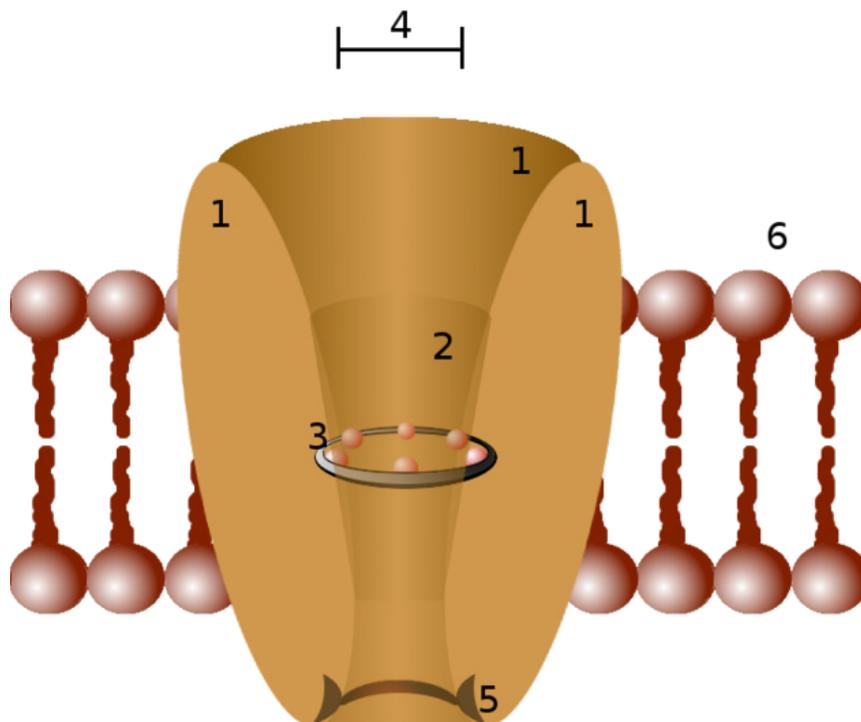


Figura 4. Representación de un canal iónico 1) Dominio de canal (normalmente son 4 por canal), 2) vestíbulo exterior, 3) filtro de selectividad, 4) Diámetro de filtro de selectividad, 5) sitio de fosforilación y 6) membrana celular.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ion_channel.png

Los canales iónicos no son simplemente agujeros en la membrana, sino que están constituidos por proteínas, las cuales permiten el paso de agua a través de la misma, pero no de solutos más grandes por eso se les reconoce por ser selectivos.

Existen varios tipos de canales: iónicos de escape, iónicos con compuerta dependientes por voltaje y dependientes de ligando o receptores.

Los **canales iónicos de escape** son canales siempre abiertos que permiten la entrada y salida de iones específicos de acuerdo a su tamaño y carga (ver figura 5).

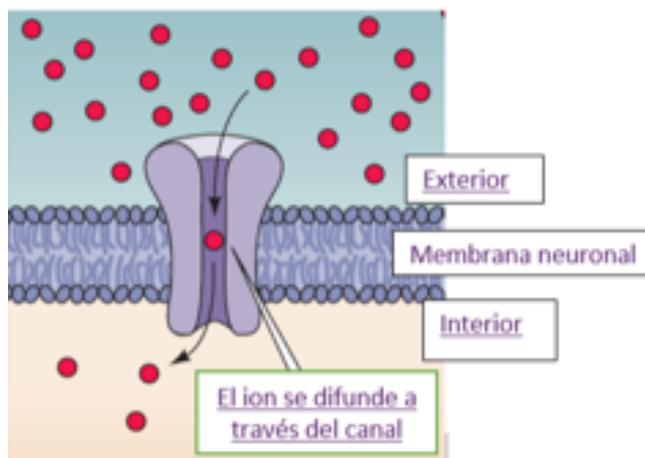


Figura 5. Canal de escape. Canales mostrando la parte exterior, la membrana, el interior de la membrana y los iones
Fuente: Purves et al, 2008.

Los **canales iónicos con compuerta** hacen referencia a canales específicos y selectivos, lo cual deben ser abiertos para permitir el paso rápido de iones. Dentro de estos canales con compuerta encontramos **los canales voltaje dependientes o dependientes de voltaje**, que como su nombre lo indica son canales regulados por voltaje, es decir, que se abren o cierran dependiendo de la carga o voltaje. Esta capacidad la logran ya

que presentan en su estructura un sensor (ver figura 6), por el que logran percibir los cambios de voltaje o campo eléctrico de la membrana y esto genera que se abran o cierren para permitir el paso de iones.

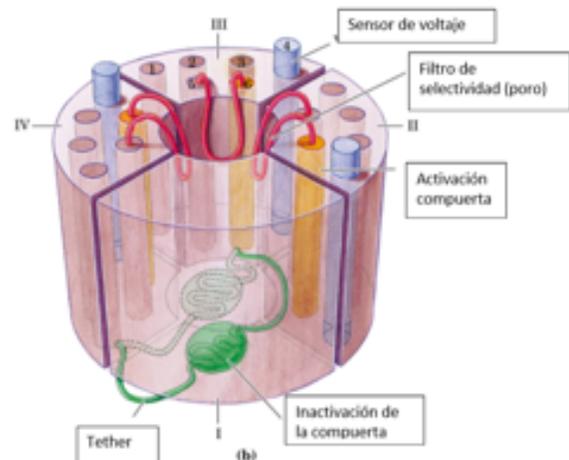


Figura 6. Canal dependiente del voltaje, con sus filtros de voltaje y las compuertas de activación e inactivación

Fuente: http://www.unizar.es/departamentos/bioquimica_biologia/docencia/ELFISICABIOL/Canales/Est6.gif

Los **canales receptores** hacen referencia a los canales que reciben una molécula o conocidos como canales regulados por **ligandos** o **ligando dependientes**, es decir, canales que se abren cuando un ligando o neurotransmisor (sustancia química) se une a una región del canal, llamada receptor (de ahí a que muchas veces nos referimos a estos canales iónicos como receptores). Esta unión del ligando al receptor (ver figura 7) genera que haya un cambio en la conformación del canal permitiendo que este se abra y los iones puedan pasar. Estos canales son fundamentales en la transmisión sináptica, la cual se explicará en la siguiente cartilla.

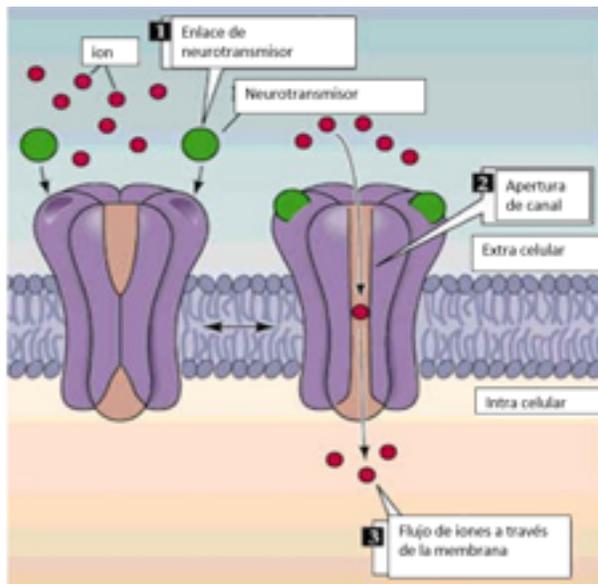


Figura 7. Receptor-Canal ligando dependiente, Canales que se abren por neurotransmisor presentando los componentes extracelulares e intracelular para generar un flujo en la parte interna Fuente: Bear et al 2008.

Los canales están en la membrana neuronal y dependiendo de la zona (soma, dendrita, axón o botones) pueden estar en mayor o menor proporción o no presentarse.

Bombas iónicas

Los transportadores de membrana como las bombas iónicas son proteínas que crean y mantienen los gradientes iónicos, es decir generan las diferencias de concentración (esto se entenderá más adelante). Dentro de estas bombas iónicas se encuentra la **bomba de sodio – potasio ATPasa**, proteína que transporta iones a través de la membrana contra (en sentido contrario) sus gradientes de concentración a costa de energía metabólica. Y esto ¿qué quiere decir?, imaginen que tienen en un compartimiento 100 pelotas, y en otro 20, aquí habría un gradiente de concentración, es decir una diferencia de concentraciones entre un lado y

otro. Si en algún momento abriéramos una puerta, ¿hacia dónde creen que se moverían las pelotas? Se moverían del compartimiento de mayor concentración (100 pelotas) al de menor concentración ¿cierto?, es decir, se moverían a favor de su gradiente de concentración.

Así, la bomba sodio – potasio expulsa tres iones de sodio (Na^+) hacia el exterior e impulsa dos iones de potasio (K^+) hacia el interior en contra del gradiente de concentración (ver figura 8). Pero, para entender por qué este intercambio de iones se da en contra del gradiente de concentración debemos saber qué es el potencial de membrana en reposo y como está la neurona en este estado.

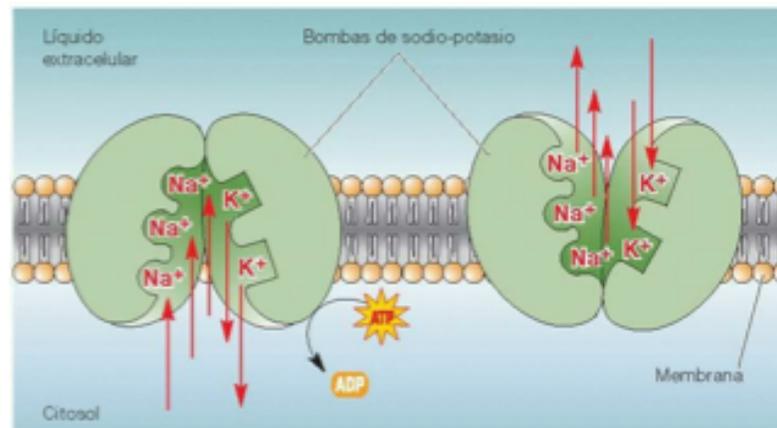


Figura 8. Bomba sodio-potasio. Membrana celular con canales específicos representando la bomba sodio potasio Fuente: Bear et al 2008.

Potencial de membrana en reposo

Cuando se habla del potencial de membrana en reposo se hace referencia a la diferencia de cargas a través de la membrana. Es decir, la diferencia de carga eléctrica o voltaje que se genera a través de esa membrana cuando la neurona no está alterada o recibiendo impulsos.

Y ¿cuál es esa diferencia de cargas? Cuando la membrana de la neurona está en reposo presenta tres características o estados. Primero, tiene exceso de carga positiva en la parte externa o extracelular y un exceso de carga negativa en el interior de la neurona (precisamente en el citosol) (ver figura 9). Segundo, como vimos, la carga eléctrica NO está uniformemente distribuida a través de la membrana neuronal, por lo que cuando nuestra neurona está en reposo tiene un voltaje entre -60 mV y -70 mV. Finalmente, en reposo en el interior de la neurona hay mayor cantidad de potasio (K^+), y en el exterior mayor cantidad de sodio (Na^+), Cloruro (Cl^-) y calcio (Ca^{2+}).

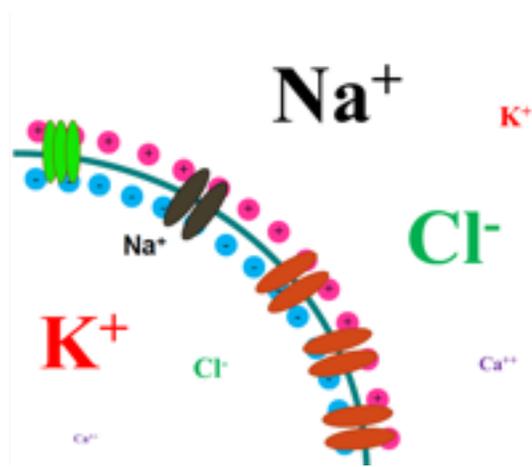


Figura 9. Descripción de componente de carga en la parte intracelular y extracelular
Fuente: Propia.

Pero se preguntarán, ¿Por qué si afuera hay más cloruro que es un ion negativo, la neurona está más cargada positivamente en el exterior? Para responder a esto es necesario hablar de los **aniones orgánicos**, iones con carga negativa que se encuentran en gran cantidad en el interior de la neurona y que no tienen canales, es decir que no pueden salir de la neurona. Al no tener canales, la membrana impide su paso por ella y es por

esto que en el interior de la neurona está más negativa que afuera (ver figura 10).

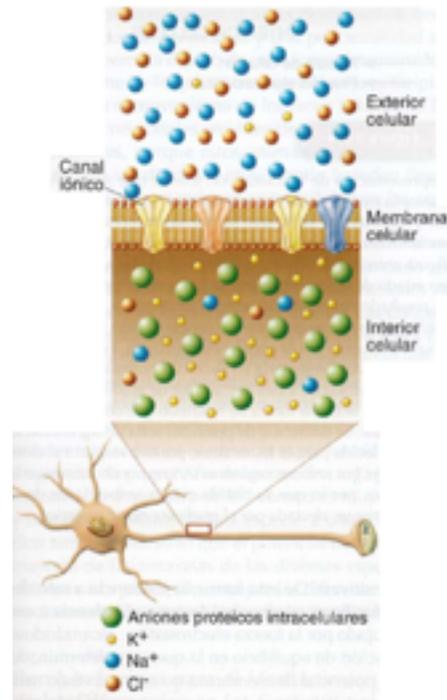


Figura 10. Iones en la neurona
Fuente: Abril et al. 2009.

La imagen permite ver la cantidad de iones tanto en el interior como en el exterior de la célula.

Sin embargo, ¿cómo la neurona presenta esta diferencia de cargas y de concentración?

Primero, recuerden que para que se genere el ingreso o la salida de los iones de la membrana, se deben tener canales iónicos de filtración/escape que lo permitan (canales de Na^+ , K^+ , Cl^- y Ca^{2+}), y segundo se deben generar fuerzas externas que los hagan cruzar. Esas dos fuerzas son: la **fuerza de difusión** que explica que las moléculas (iones) se moverán de la región de alta concentración a la región de baja concentración, es decir que se mueven a favor del gradiente de concentración. Y la fuerza de **presión elec-**

electroestática, la cual explica que los iones se mueven por la atracción o repulsión entre ellos, debido al principio físico de que las cargas opuestas se atraen y las cargas iguales se repelen (ver figura 11).

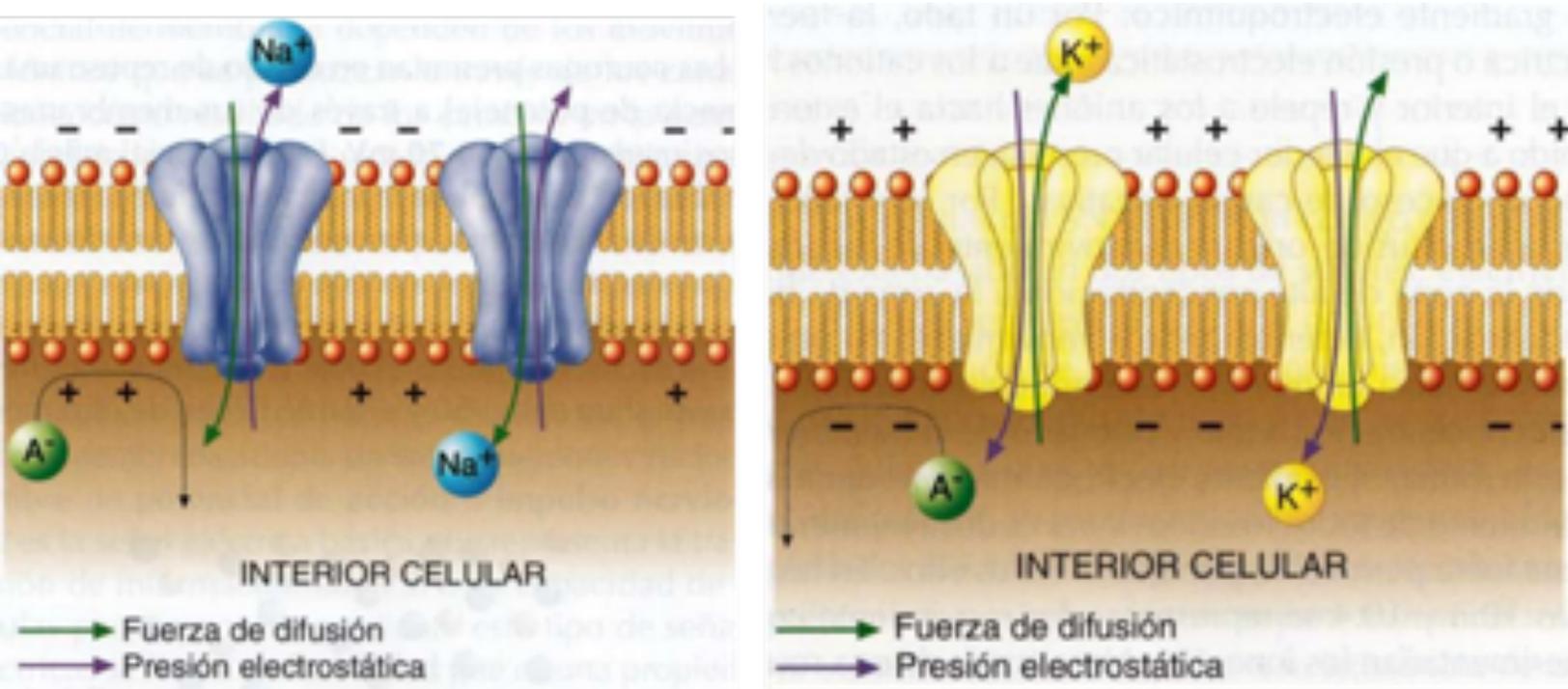


Figura 11. Fuerzas externas para movilidad iónica. Descripción de la fuerza de difusión y electroestática tanto en la entrada a la célula como en la salida

Fuente: Abril et al. 2009.

La **diferencia de cargas** en el potencial de membrana en reposo se debe principalmente a la carga (negativa) de los aniones orgánicos no permeables a la membrana que están en su mayoría en el interior de la neurona.

Finalmente, la **diferencia de concentración** se debe al trabajo de la bomba sodio-potasio que permite mantener el gradiente de concentración de la célula, expulsando tres iones Na^+ hacia el exterior de la neurona e impulsando dos iones K^+ hacia el interior, en contra del gradiente de concentración (ya que al haber más potasio adentro, este tendería a salir siempre (ver figura 12), lo mismo sucedería con el sodio), manteniendo la diferencia de concentraciones de sodio y potasio a través de la membrana cuando está en reposo (más potasio adentro y más sodio afuera).

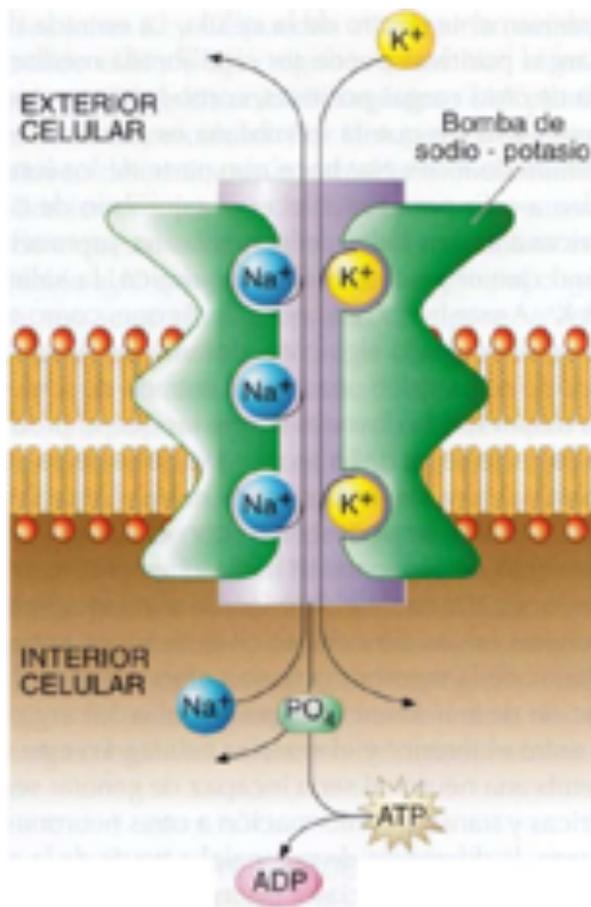


Figura 12. Bomba sodio- Potasio ATPasa
Fuente: Abril, et al 2009.

Representación de la bomba de sodio-potasio en la membrana celular en el momento de intercambio de iones de sodio y potasio para mantener el gradiente de concentración. El ATP es la energía de la neurona, el intercambio en contra de los gradientes hace que la bomba gaste un 70% del ATP generado por la mitocondria, del potencial de membrana.

En conclusión, cuando la neurona está en reposo 1) se encuentra a -65mV aproximadamente, 2) hay una diferencia de cargas: está más negativa en su interior (citósol) y más positiva en el exterior, y 3) hay diferencia de concentraciones: mayor concentración de potasio en el interior y mayor sodio, cloruro y calcio en el exterior.

Ahora, ¿por qué sería interesante alterar el potencial de membrana? Porque de esta manera es posible transmitir información confiable de una célula a otra, sin pérdida de información. Como vimos, los canales que están permitiendo que en el potencial de membrana en reposo se dé la diferencia de carga eléctrica son los canales iónicos de filtración/escape. En el potencial de acción, entran en escena los canales dependientes de voltaje.

Potencial de acción

El **potencial de acción** es una breve inversión de la condición de reposo de la neurona, donde por un instante el interior de la membrana se torna de carga positiva en relación al exterior. Es decir, que hay una inversión de la polaridad donde el citósol de la neurona pasa a estar positivo por un milisegundo.

Durante el potencial de membrana en reposo, los canales iónicos con compuerta están cerrados (sin posibilidad de conducción), por lo tanto, son impermeables a los iones y no conducen la corriente eléctrica. Mientras que, en el potencial de acción, debido a la llegada del estímulo, los canales iónicos dependientes de voltaje se abren y conducen la corriente eléctrica, permitiendo que algunos iones pasen a través de ellos y lleven el mensaje a la siguiente neurona. Pero ¿cuáles canales se abren y cómo lo hacen?

Como en todos los demás procesos, el potencial de acción o impulso eléctrico tiene unas fases claves: despolarización, repolarización e Hiperpolarización (ver figura 13). Para que se den cada una de estas fases la membrana debe tener ciertas características que veremos a continuación.

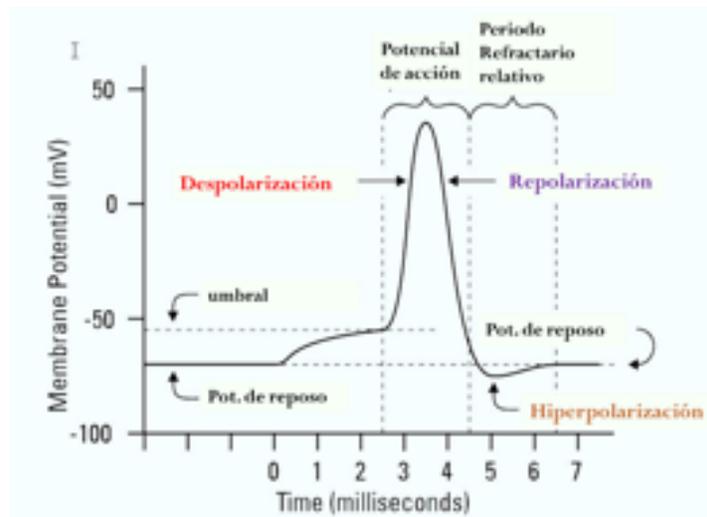


Figura 13. Fases del potencial de acción. Imagen obtenida de internet y modificada
Fuente: Abril, et al 2009.

El potencial de acción se desencadena cuando una despolarización inicial alcanza un **umbral**. Esto ¿qué quiere decir?, cuando una neurona recibe un estímulo (me quemó con una vela, me golpeo, escucho una voz, etc.), se abren los canales de sodio dependientes de voltaje y por lo tanto el sodio entra en la célula a favor de su gradiente de concentración (recuerden que en potencial de reposo el sodio está más concentrado afuera y al abrirse un canal tenderá a entrar por las fuerzas), de manera que el potencial de membrana empieza a cambiar a positivo mediante el intercambio de iones, produciéndose así una despolarización.

Ahora, si la despolarización alcanza un determinado valor, es decir, alcanza el umbral, se genera un potencial de acción y se puede transmitir este impulso generando la transmisión de información.

Entonces, para que se pueda dar un potencial de acción, la estimulación debe alcanzar ese nivel mínimo de estimulación (umbral) que de su entorno es de unos -40 mV.

Una vez que se alcanza el umbral se abren los suficientes canales de sodio dependientes de voltaje e inicia la fase ascendente o **despolarización**. Esta fase inicial del potencial de acción se da por la apertura de los canales de sodio, y por ende por la entrada de sodio al interior de la neurona, generando que la neurona se torne positiva (tengan en cuenta que el sodio es un ion positivo, al entrar en grandes cantidades va a generar una concentración de esta carga (positiva) en el interior).

Y ¿por qué se abren solo los canales de sodio y no los demás? Estos canales tienen ciertas características. Primero, son de activación rápida (una vez se alcanza el umbral se abren inmediatamente), permaneciendo abiertos por 1 milisegundo (ms) y entonces se inactivan, lo cual genera que no puedan ser abiertos nuevamente hasta que el voltaje de membrana vuelva a ser negativo y próximo al umbral, esto debido a que tienen una partícula inactivadora que se

ubica en el interior del canal y no permite que este se cierre hasta que no esté nuevamente negativo el interior de la neurona (ver figura 14).

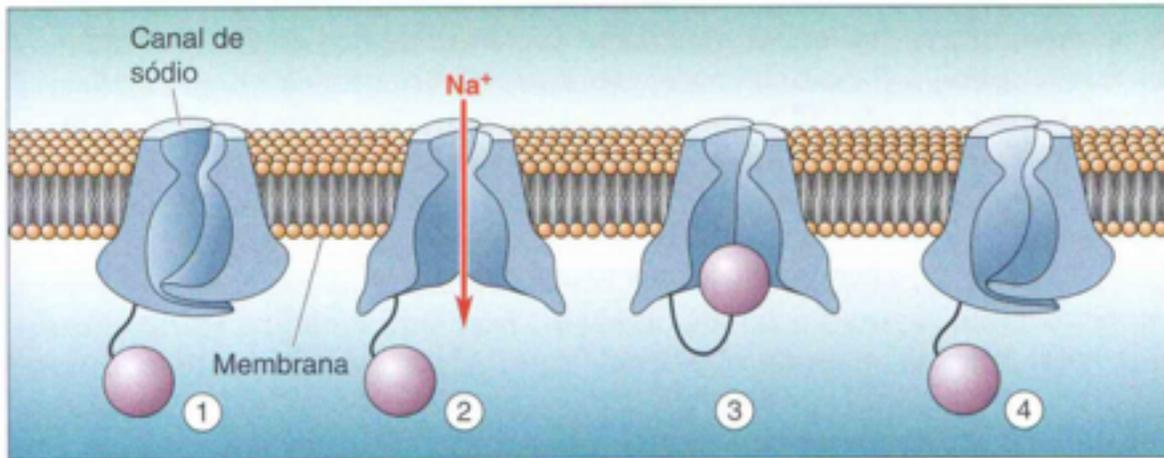


Figura 14. Fases de los canales de sodio en el nombre de abrir y cerrar de forma específica
Fuente: Abril, et al 2009.

Después de pasado 1 ms, los canales de sodio se cierran y los de potasio se abren, iniciando la fase de **repolarización**, en la cual el potasio empieza a salir de la neurona haciendo que esta vuelva a estar más negativa en su interior (al salir un ion positivo como el potasio, en el interior de la neurona quedarán los aniones orgánicos haciéndola negativa nuevamente). Estos canales al contrario que los de sodio, son de activación lenta (ellos también se abren con el umbral, pero se demoran 1ms para abrirse completamente) y duran más tiempo abierto.

Es por esta última característica que ocurre la siguiente fase, la **Hiperpolarización**, momento en el que la neurona es más negativa en su interior que cuando estaba en reposo. Esto se da porque el potasio continúa saliendo de la neurona a través de sus canales que continúan abiertos, haciendo que en su interior quede mayor cantidad de aniones y por ende el citosol se torne más negativo que cuando estaba en reposo. Una vez los canales de potasio se cierran, la bomba sodio - potasio empieza a funcionar haciendo que la neurona vuelva a su estado de reposo y esté lista para un nuevo potencial de acción (ver figura 15).

Durante el potencial de acción se dan dos periodos, el **período refractario absoluto**, momento que el canal de sodio está inactivo y es imposible generar un nuevo potencial de acción; y el **período refractario relativo**, momento en el que es más difícil iniciar un potencial de acción debido a que el potencial de membrana se mantiene hiperpolarizado y por ende se necesitará mucha más corriente para alcanzar el umbral y disparar el potencial de acción (ver figura 15).

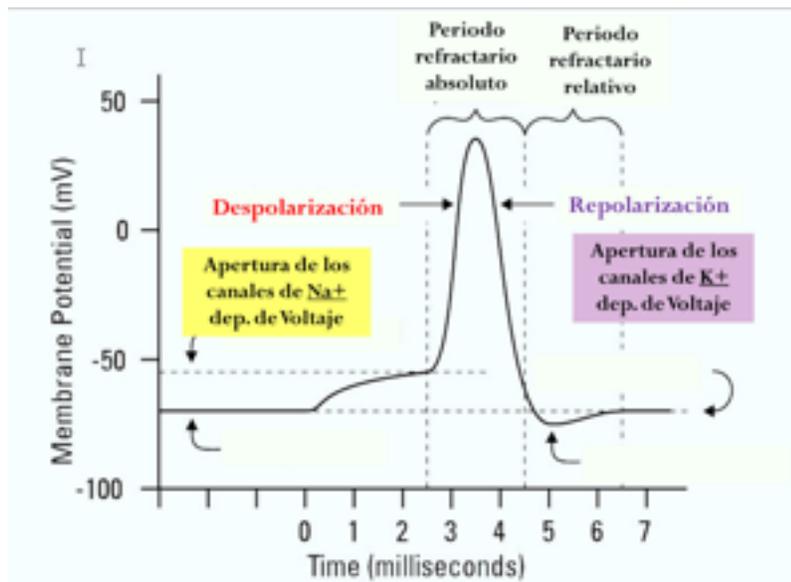


Figura 15. Fases del potencial de acción, dejando el potencial de reposo, pasando por la despolarización, pasando el umbral
Fuente: Abril, et al 2009.

Se presenta el periodo refractario absoluto generando una repolarización. Pasan por el periodo refractario relativo. Imagen obtenida de internet.

Ya conociendo las fases del potencial de acción, es importante que se entienda que es un **todo o nada**, es decir que se genera o no se genera y una vez iniciado, se transmite a lo largo del axón hasta su extremo, manteniendo siempre su tamaño, no aumenta ni disminuye a lo largo de su trayecto. En el caso de llegar al punto de ramificaciones del axón, se distribuye, pero no pierde su tamaño.

Conducción del potencial de acción

Y ¿dónde se genera el potencial de acción? La potencia de acción es generada en el cono de implantación o zona de disparo del axón y se transmite a lo largo de este por las propiedades de la membrana. ¿Recuerdan que el axón es recubierto por vainas de mielina que tienen espacios entre ellas llamados nódulos de Ranvier, en los cuales la membrana está descubierta?, Bueno, es en estos espacios descubiertos que van a estar ubicados los canales de sodio y potasio dependientes de voltaje y donde el impulso se regenerará para propagarse sin decremento. Una vez generado el potencial de acción en el cono de implantación, la corriente fluirá por el axón, activando los canales ubicados en el siguiente nódulo de Ranvier, y esta activación causará la activación de los siguientes canales del próximo nódulo de Ranvier y así sucesivamente, permitiendo la transmisión del potencial de acción hasta llegar a los botones sinápticos (ver figura 16). Esto quiere decir que la generación de un potencial de Acción consigue despolarizar más allá del umbral la región a su frente vía **flujo pasivo** de corriente.

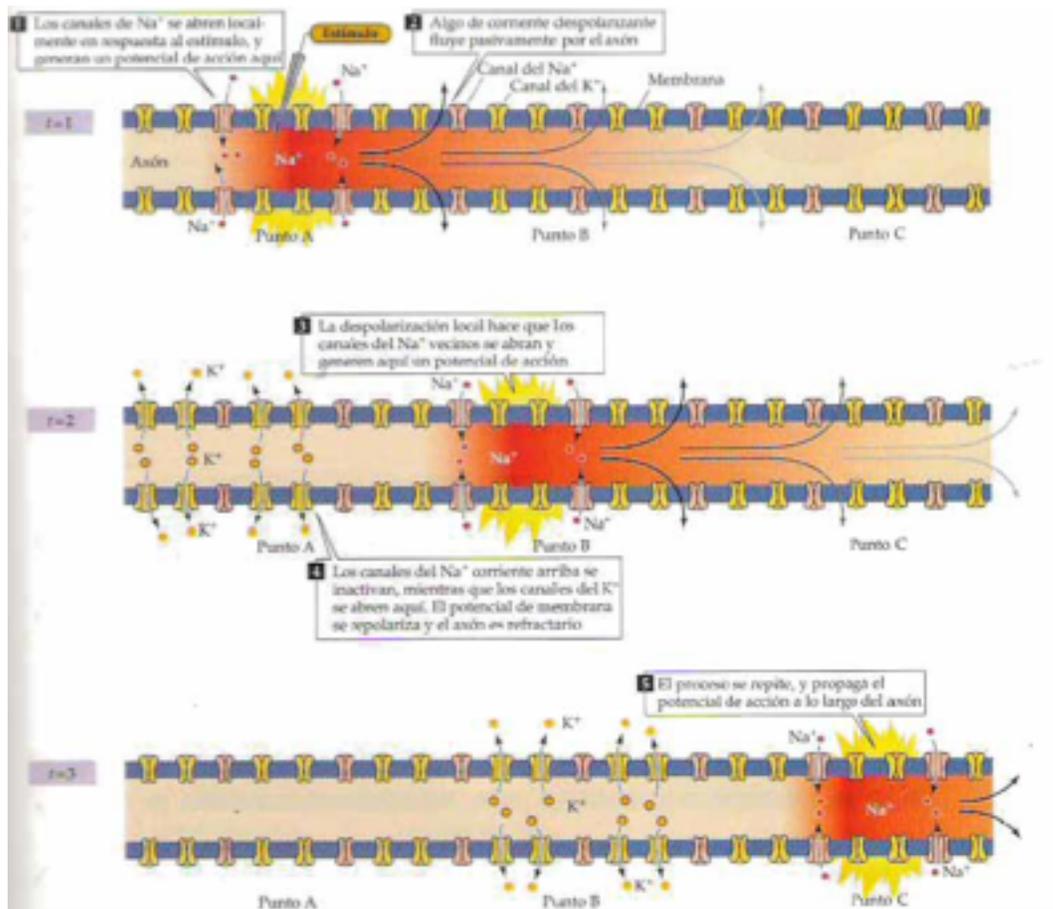


Figura 16. Conducción del potencial de acción
Fuente: Purves et al 2008.

En conclusión, la neurona necesita estar en reposo (negativa en su interior y positiva en el exterior, mayor potasio adentro y mayor sodio afuera) para poder generar el potencial de acción, el cual tiene tres fases principales: la despolarización que se produce una vez se alcanza el umbral y por ende se da la activación de los canales de sodio dependientes de potasio y entrada de iones de sodio, seguido por la repolarización producida por la salida de iones potasio a través de sus canales, y finalizando con la Hiperpolarización donde continúa saliendo potasio de la neurona porque aún no se han cerrado los canales de potasio dependientes de voltaje. Tengan en cuenta que un solo canal no produce un potencial de acción. La membrana de un axón puede contener miles de canales de sodio por micrómetro cuadrado (μm^2) y se requiere la acción conjunta de todos estos canales para generar lo que medimos como un potencial de acción (Bear et al 2008).

2

Unidad 2

Sinapsis

Neuroanatomía Funcional

Introducción

Una vez generado el potencial de acción, este es transmitido a lo largo del axón para que la información sea transportada a otra neurona, lo cual facilita la interacción con el medio externo y sus estímulos. Para lograrlo, es necesario la liberación del neurotransmisor de la neurona (presináptica), para que se ligue a su canal receptor (ligando dependiente) y así el impulso pueda ser recibido en la siguiente neurona (postsináptica).

Es decir, se debe generar una *sinapsis*, proceso que se entiende como una unión especializada en la que una parte de la célula se comunica con otra para transmitir información en forma de impulso nervioso. Retomando el ejemplo de la semana anterior, si pisan una puntilla, primero la información debe ser transmitida para que se sienta el dolor y así podamos reconocer en qué parte de nuestro cuerpo se ubica el daño para que finalmente podamos levantar el pie. Todo este proceso sucede gracias a la comunicación neuronal.

Existen dos tipos de sinapsis, una de tipo química (que necesita una molécula bioquímica para presentarse) y otra de tipo eléctrica (paso directo de iones). Una vez generado el contacto, la respuesta de la neurona que recibe (post-sináptica) podrá ser excitatoria o inhibitoria (estos son **clases de transmisión sináptica**).

Como se acaba de mencionar, en la sinapsis química se necesita una molécula, la cual se denomina neurotransmisor encargado de permitir la entrada de iones y así transmitir la información. Existen diferentes neurotransmisores que dependiendo del lugar y su sitio de actuación influirán en nuestro comportamiento, así mismo una alteración en las moléculas puede generar alguna patología (depresión, ansiedad, esquizofrenia, etc.).

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual dedicara a sus lecturas o investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante presente una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planeé los espacios y horas de estudios que dedicara al módulo, de esta manera evitara distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de una forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquello términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas, si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.) no es adecuado estar levantándose de sus puestos para ir a buscar algún material, genera una pérdida de las ideas que se trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, ir al baño).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).
- Existen más estrategias de aprendizaje para ser efectivo el proceso de aprendizaje.

Recuerden que la cartilla no debe ser el único recurso de consulta del tema.

Sinapsis

En el encéfalo encontramos un gran número de neuronas, las cuales pueden acarrear una serie de cambio en otras células, pero para esto es necesaria la comunicación entre ellas. Una vez que el potencial de acción se genera en el cono de implantación, viaja a lo largo del axón hasta llegar a los botones sinápticos, allí dependiendo del tipo de sinapsis, generará la liberación del neurotransmisor o permitirá la abertura de canales tipos gap y así la información podrá ser transmitida a la siguiente neurona.

Las neuronas que pasan la información son conocidas como neuronas **pre-sinápticas** (por estar ubicadas antes de la sinapsis) y las neuronas que reciben la información son las neuronas **post-sinápticas** (porque son las receptoras de la información que trae el neurotransmisor).

Sinapsis

Cuando hablamos de sinapsis nos referimos a la comunicación que se da entre una neurona y otra en el espacio sináptico (como ejemplo el espacio que presenta un botón terminal de una dendrita) (ver figura 1). Así, la transmisión de la información se da en sitios denominados sinapsis y el proceso de transferencia de la información se conocerá como **transmisión sináptica**. Existen dos tipos de sinapsis, una eléctrica y otra química.

Sinapsis eléctricas

Una sinapsis eléctrica es aquella en la que la transmisión se da sin necesidad de un neurotransmisor, sino por el paso directo de iones de una neurona a otra. Este tipo de sinapsis lo encontramos principalmente en los vertebrados menos complejos y en algunas regiones encefálicas de los mamíferos. Este tipo de comunicación permite el flujo pasivo y directo de corriente eléctrica de una neurona pre y post-sinápticas las cuales están separadas por solo 3 nanómetros (ver figura 1). En esta sinapsis el paso de iones se da directamente en sitios especializados denominados **uniones tipo gap** (ver figura 2).

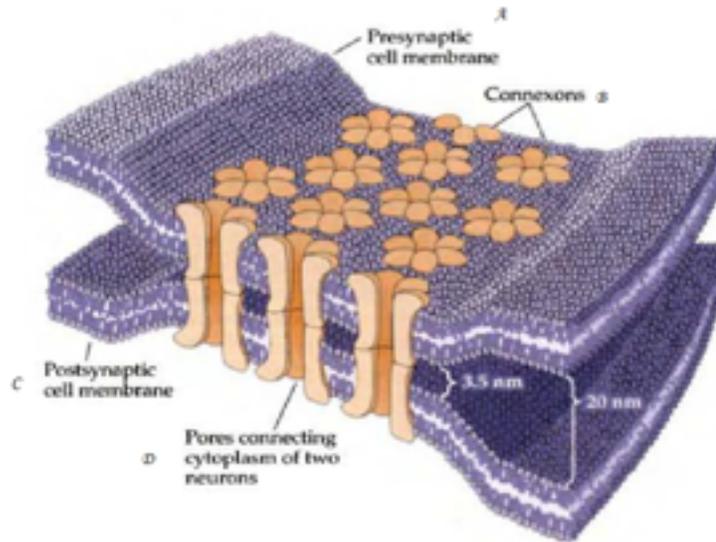


Figura 1. Unión Gap
Fuente: Purves et al. 2008.

Membrana de la célula presináptica y postsináptica en una sinapsis eléctrica. En la imagen se pueden ver A) la membrana del botón sináptico de la neurona presináptica separada por solo 3 nanómetros de C) la membrana de la neurona post-sináptica (puede ser una dendrita). B) Los conexones formados por 6 subunidades de conexina ubicados en ambas membranas para formar D) un poro que permite el paso directo de iones conocido como unión gap.

Estas uniones tipo gap o uniones en brecha son la unión entre dos **conexon**, que son pequeños canales compuestos por conexas que atraviesan la membrana y se unen al conexon de la membrana post-sináptica para generar la unión.

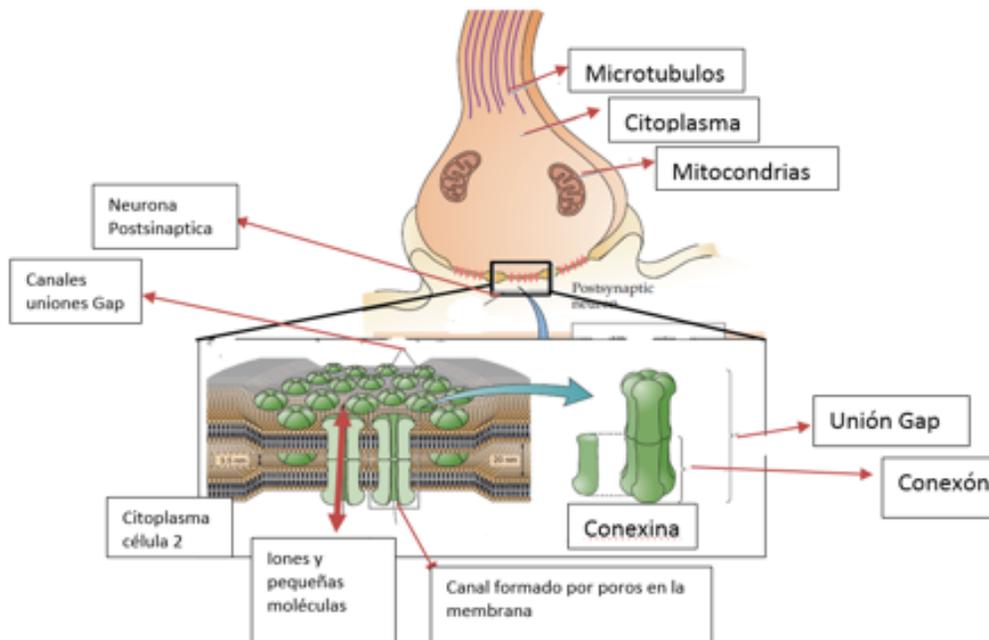


Figura 2. Formación uniones Gap, en una comunicación de sinapsis eléctrica entre dos neuronas
Fuente: Purves et al. 2008.

Así, seis conexinas forman un conexon que unido con otro forman una unión tipo gap (cada conexon está en la membrana de ambas neuronas pre y post-sinápticas) (ver figura 2). Y es por este canal que pasan los iones directamente del citoplasma de la célula presináptica al citoplasma de la postsináptica.

La mayoría de las uniones gap facilitan que la corriente iónica pase en ambas direcciones con la misma facilidad, por esa razón una de las características que presenta este tipo de sinapsis es ser bidireccional. La transmisión en la sinapsis eléctrica es muy rápida debido a que no requiere un mensajero (neurotransmisor) y por ende el impulso nervioso pasa directamente. Así pues, un potencial de acción en la neurona presináptica puede producir de manera instantánea un potencial de acción en la neurona postsináptica. Es por esto que estas sinapsis se encuentran en su mayoría en regiones del cuerpo que requieren un trabajo rápido y constante. En los vertebrados como el ser humano, son comunes en corazón, los pulmones e hígado al ser órganos que requieren que la información llegue inmediatamente para trabajar como suelen hacerlo y así permitir que la sangre llegue a todos los tejidos del cuerpo junto con el oxígeno.

Sinapsis química

Las sinapsis químicas se dan entre neuronas que están separadas por un espacio de 20 a 50 nanómetros, mucho mayor que la que se presenta en la comunicación eléctrica. Este espacio o hendidura sináptica está relleno de proteína extracelulares que tienen la función de permitir la adherencia entre ambas membranas. Asimismo, se da un flujo secundario de corriente, es decir, no hay flujo directo ya que quienes transfieren la información de una neurona a otra son los neurotransmisores, lo que ocasiona que este tipo de sinapsis sea más lento. Estas sinapsis son las que se presentan en mayor abundancia en el sistema nervioso (ver figura 3)

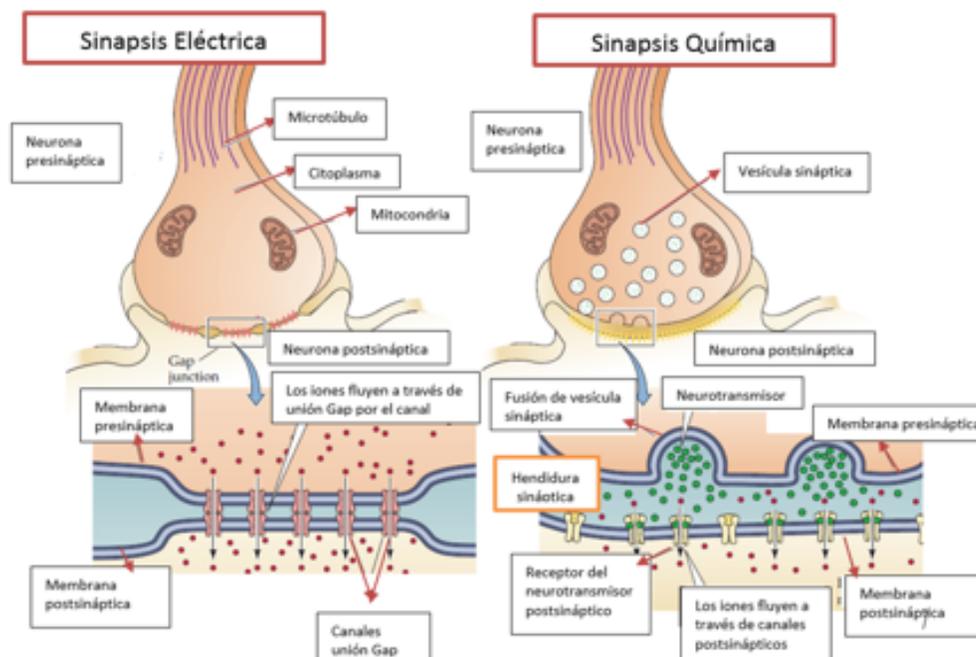


Figura 3. Diferencia en los tipos de sinapsis.
Fuente: Purves et al. 2008.

En conclusión, la comunicación que presentan las neuronas puede ser de dos tipos, la sinapsis química, la cual tiene como características principales:

- Es unidireccional.
- Es mucho más lenta que la eléctrica porque necesita de neurotransmisores para generar la información.
- Genera gasto de adenosín trifosfato (*ATP*) es un nucleótido fundamental en la obtención de energía celular.

Mientras que la sinapsis eléctrica presenta las siguientes características:

- No necesita de una molécula química para transmitir la información.
- Es de tipo bidireccional.
- Es mucho más rápida que la química al darse el paso de iones de manera directa y genera menor gasto de energía.
- El espacio sináptico es de 3 nm.

Transmisión sináptica

Las sinapsis habitualmente se dan entre un terminal axónico y una dendrita o un soma. Los terminales axónicos, como ya lo hablamos, en su interior presentan gran cantidad de vesículas sinápticas que es donde se encuentran los neurotransmisores. En las sinapsis químicas, una vez sintetizado (producido) el neurotransmisor y almacenado en las vesículas se puede iniciar el proceso de transmisión sináptica.

La liberación de los neurotransmisores se da por la llegada del impulso nervioso (potencial de acción) al terminal axonal de la neurona presináptica causando la activación de **canales de calcio** dependientes de

voltaje. Esta activación generará la entrada de calcio a la neurona provocando que proteínas transmembrana se activen y movilicen la vesícula hasta la membrana, donde se fundirán ambas membranas y se liberará el neurotransmisor, este proceso es llamado **exocitosis**.

Luego de la exocitosis, los transmisores se difunden a través de la hendidura sináptica, y se unen a sus receptores (canales dependientes de ligando) específicos ubicados en la membrana celular postsináptica. Al unirse el ligando a su receptor, se generará la apertura del canal postsináptico y dependiendo del tipo de neurotransmisor se dará un potencial excitatorio post-sináptico (PEPS) o un potencial inhibitorio post-sináptico (PIPS). Un PEPS se genera debido a que la despolarización de la membrana por la apertura de los canales de sodio y paso iones de Na^+ hacia el interior de la neurona. Esta despolarización nunca es igual, ya que depende del número de canales que se abren (mayor número de canales abierto, mayor la amplitud) y a su vez depende de la cantidad de neurotransmisor que haya sido liberada. Un único PEPS no lleva a un Potencial de Acción, para producir un Potencia de acción se necesita una sumatoria de PEPS. Mientras que los PIPS se producen cuando el neurotransmisor se liga a su receptor en canales iónicos de Cloruro y por ende permiten la entrada de Cl^- al citosol y generan la hiperpolarización de la membrana

Finalmente, la membrana de la vesícula vuelve a desprenderse de la membrana neuronal y así está lista para encapsular nuevos neurotransmisores, a este proceso se le conoce como **endocitosis** (ver figura 4).

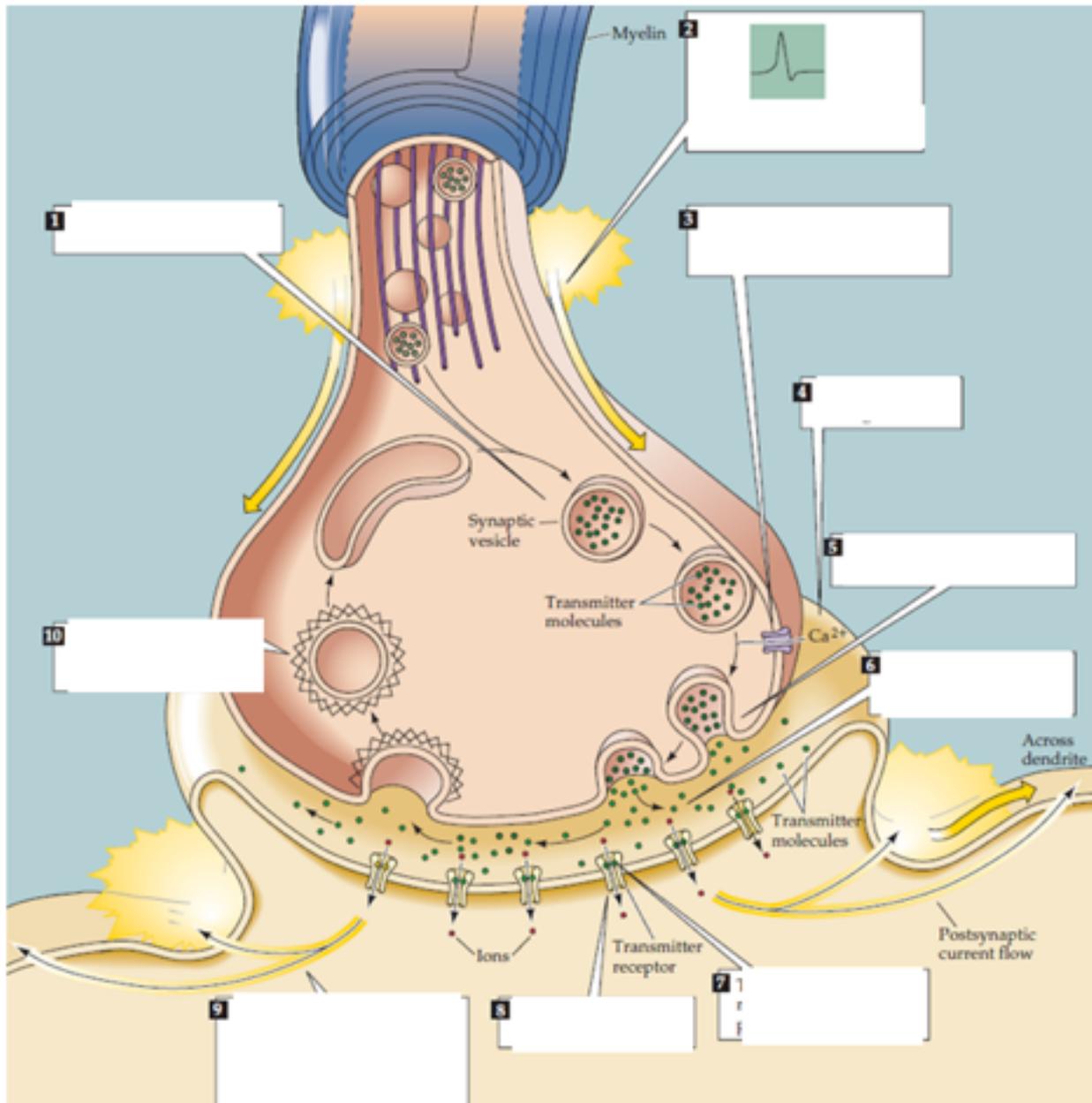


Figura 4. Pasos de la transmisión sináptica.
Fuente: Purves et al. 2008.

Muestra la descripción paso a paso que realiza la sinapsis química.

Neurotransmisores

Conociendo la importancia de los neurotransmisores, ahora veremos a qué se le llama neurotransmisor, cómo se sintetiza o produce y la región encefálica donde lo hace y sus conexiones con otras áreas.

Para que una molécula sea considerada como un neurotransmisor debe cumplir con tres características básicas. En primer lugar, la molécula debe ser producida dentro de la neurona presináptica. Como segundo punto debe ser liberada por la misma neurona en respuesta a la llegada del potencial de acción y posterior la activación de los canales de calcio. Finalmente, al ser liberada la molécula debe unirse a receptores específicos en neurona postsináptica.

Existen muchas clasificaciones de los neurotransmisores, vamos a tomar los más reconocidos. Comenzando por su tamaño, se encuentran los neurotransmisores de molécula pequeña, conocidos como **aminoácidos** (molécula individual), las **aminas biógenas**, y los neurotransmisores de molécula grande o **neuropéptidos** (ver figura 5).

| Aminoácidos | Aminas | Péptidos |
|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ■ Ácido gamma-amino-butírico (GABA) ■ Glutamato (GLU) ■ Glicina (GLY) | <ul style="list-style-type: none"> ■ Acetilcolina (ACH) Catecolamina ■ Dopamina (DA) ■ Norepinefrina (NE) ■ Epinefrina indolaminas ■ Serotonina (5-HT) Imidazolaminas ■ Histamina | <ul style="list-style-type: none"> ■ Colecistoquinina ■ Dinorfina ■ Encefalinas ■ NAAG ■ Neuropeptido Y ■ Somatostatina ■ Sustancia P ■ Hormona liberadora de tirotropina ■ Peptido intestinal vasoactivo |

Figura 5. Clasificación de los principales neurotransmisores
Fuente: Propia.

Todos los neurotransmisores son sintetizados a partir de una enzima precursora, y gracias a enzimas que **hidroxilan** (una reacción química en la que se introduce un grupo hidroxilo (OH) en un compuesto reemplazando un átomo de hidrógeno, oxidando al compuesto) o **descarboxilan** (reacción química en la cual un grupo carboxilo (-COOH) es eliminado de un compuesto en forma de dióxido de carbono (CO₂), cambian la composición de esa enzima inicial hasta convertirla en el neurotransmisor deseado.

Existen dos mecanismos los cuales inactivan al neurotransmisor, uno es la **activación enzimática** y el otro es la **recaptación**. El primero se realiza por enzimas específicas que degradan o metabolizan al neurotransmisor generando una descomposición en los elementos básicos que activan el receptor. El segundo proceso, se lleva a cabo por las proteínas transportadoras que está ubicado en el botón terminal que libera el neurotransmisor.

En el proceso de síntesis y almacenamiento no se desaprovecha ningún recurso, puesto que la neurona es capaz de reutilizar los neurotransmisores liberados o los productos resultantes de la degradación de los mismos. En otros casos, las moléculas intactas de los neurotransmisores liberados son devueltas al botón terminal para ser almacenadas y poder ser utilizadas de nuevo.

A continuación, veremos el proceso de síntesis de los neurotransmisores, sus funciones principales y las regiones encefálicas donde se producen

Aminas Biógenas

Dentro de las aminas podemos encontrar seis neurotransmisores importantes para el funcionamiento cerebral. Estos neurotransmisores se pueden agrupar en tres familias, las catecolaminas que son la dopamina, noradrenalina y adrenalina; las indolaminas como la serotonina y las imidazolaminas como la histamina. La acetilcolina no se agrupa en ninguna familia.

Acetilcolina

Es un neurotransmisor liberado en la comunicación neuromuscular, por lo que es fundamental para la acción motora de nuestro cuerpo, es sintetizado por todas las neuronas motoras en la medula espinal y en el tronco encefálico a partir de dos enzimas precursoras: Acetil CoA y colina (ver figura 6). Esta síntesis logra dos funciones principales, una como neurohormona la cual ayuda que se sintetice el ATP y se puedan llevar a cabo los procesos de sinapsis química y eléctrica.

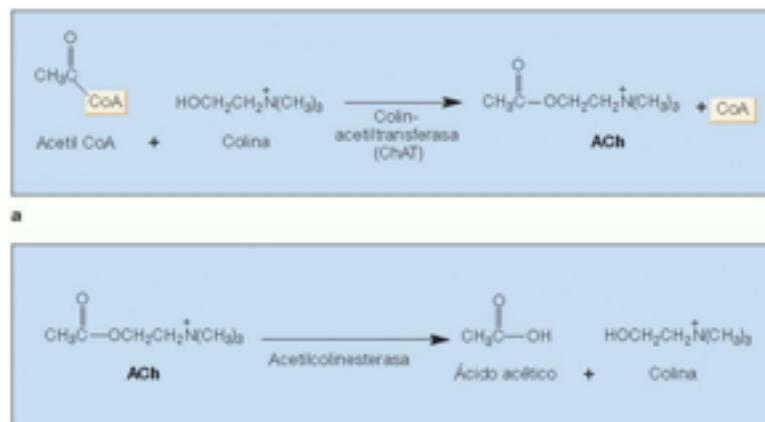


Figura 6. Síntesis y degradación de la acetilcolina
Fuente: Bear, Connors, Paradiso. 2008.

La síntesis de ACh requiere una enzima específica, la colinaacetiltransferasa (ChAT) que convertirá ambos precursores en acetilcolina (ACh) (figura 7). Los receptores a los que se une se denominan receptores colinérgicos, existiendo dos subtipos diferentes: los receptores muscarínicos y los receptores nicotínicos.

La acetilcolina es cargada en vesículas sinápticas mediante el **transportador vesicular de ACh**. Una vez el neurotransmisor es liberado y se liga a su receptor, este es degradado por la

acetilcolinesterasa, convirtiendo la ACH en colina y ácido acético. La colina es transportada nuevamente hasta el terminal sináptico para ser usada en una nueva síntesis.

Catecolaminas

Las catecolaminas son neurotransmisores que comparten el grupo catecol (ver figura 7). Dentro de las catecolaminas encontramos la dopamina, la norepinefrina o noradrenalina y epinefrina o adrenalina. Todos estos neurotransmisores tienen como precursor un aminoácido llamado tirosina.

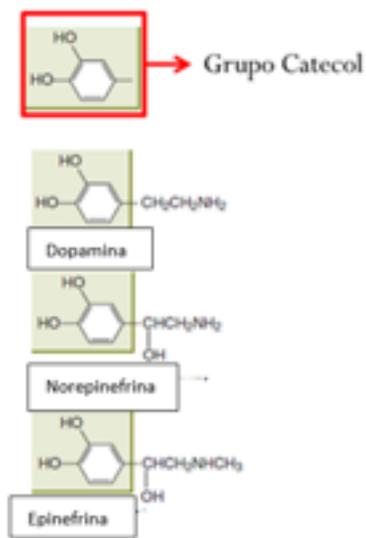


Figura 7. El grupo catecol está compuesto por la dopamina, norepinefrina y epinefrina
Fuente: Bear et al. 2008.

Dopamina

La dopamina es un neurotransmisor sintetizado a partir de la tirosina, la cual gracias a la tirosina hidroxilasa se convierte en L-DOPA, que con la L-DOPA descarboxilasa se convierte en Dopamina (DA) (ver figura 8). Una vez sintetizada la dopamina entra a la vesícula sináptica gracias al Transportador vesicular de monoaminas (**VMAT**). Este

transportador es fundamental, ya que como la vesícula también está recubierta por una membrana fosfolipídica necesita de la ayuda de transportadores transmembrana que permitan el paso de moléculas.

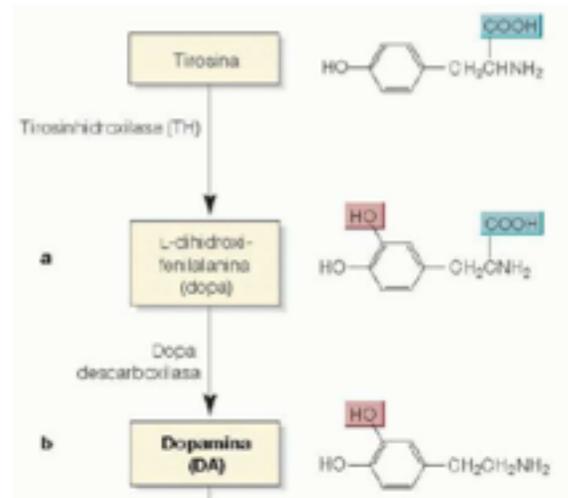


Figura 8. Síntesis de Dopamina por medio de la tirosina se convierte en L-dopa y luego se sintetiza en dopamina
Fuente: Bear et al. 2008.

Este neurotransmisor es sintetizado en la estructura cerebral Sustancia Nigra y Área Tegmental Ventral (VTA) (ver figura 9). Su principal función está relacionada con la coordinación de los movimientos corporales, la motivación, la recompensa y el refuerzo, siendo fundamental en el circuito de recompensa o placer del encéfalo y por ende involucrado en conductas adictivas.

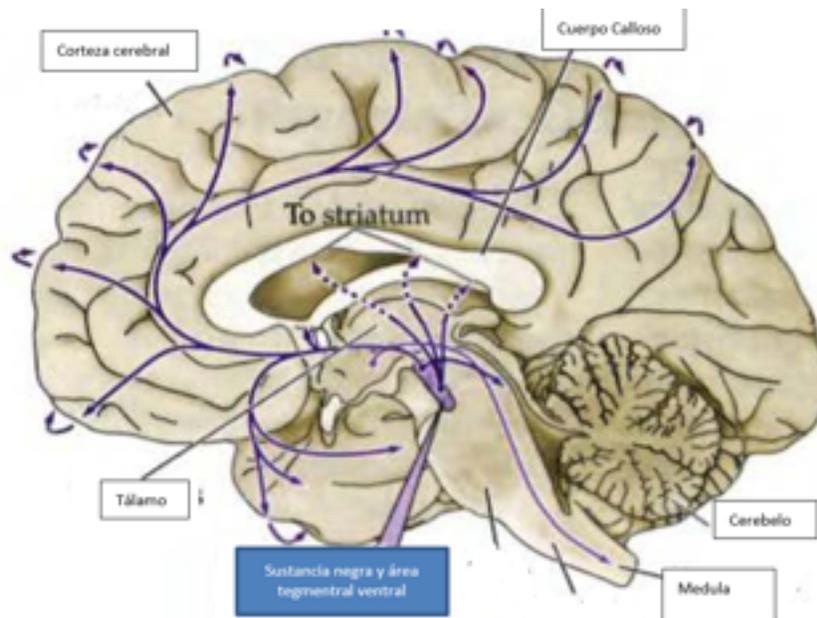


Figura 9. Síntesis de Dopamina en el encéfalo
Fuente: Purves et al. 2008.

En la imagen se muestran las estructuras relacionadas con la Dopamina y sus proyecciones a otras áreas.

Finalmente, como todos los neurotransmisores, este debe ser eliminado del espacio o hendidura sináptica una vez se haya ligado a sus receptores y cumplido su función, esto para evitar alteraciones. Para este proceso existen dos enzimas que eliminan la DA del espacio sináptico, la Monoamino oxidasa (**MAO**) y la Catecol O-metil-transferasa (**COMT**). De igual manera, cuando es necesario la Dopamina es recaptada (llevada nuevamente para dentro de la neurona) por el transportador de DA dependiente de sodio (**DAT**).

Noradrenalina (norepinefrina)

La síntesis o producción de la noradrenalina se da a partir de la tirosina, la cual gracias a la tirosina hidroxilasa se convierte en L-DOPA. La L-DOPA descarboxilasa se convierte en Dopamina y con la enzima dopamina β - hidroxilasa (DBH), logra convertir la dopamina en noradrenalina (ver figura 10).

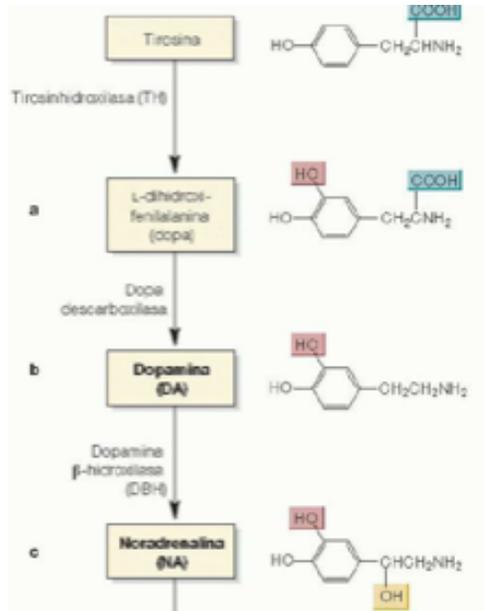


Figura 10. Síntesis de la Noradrenalina por medio de la tirosina (tirosinhidroxilasa), volviéndose L-dopa convirtiéndose en dopamina y sintetizada en noradrenalina
Fuente: Bear et al. 2008.

La NA es cargada en las vesículas por medio del **VMAT** y eliminada de la hendidura sináptica por el transportador de NA: **NET**. Las anfetaminas inhiben la NET y por eso sus efectos.

Este neurotransmisor es producido en una estructura denominada Locus coeruleus, el cual se conecta de forma difusa con otras estructuras del cerebro anterior. Entre sus funciones principales se relacionan el sueño y la vigilia, los ciclos biológicos, niveles atencionales y la conducta alimentaria.

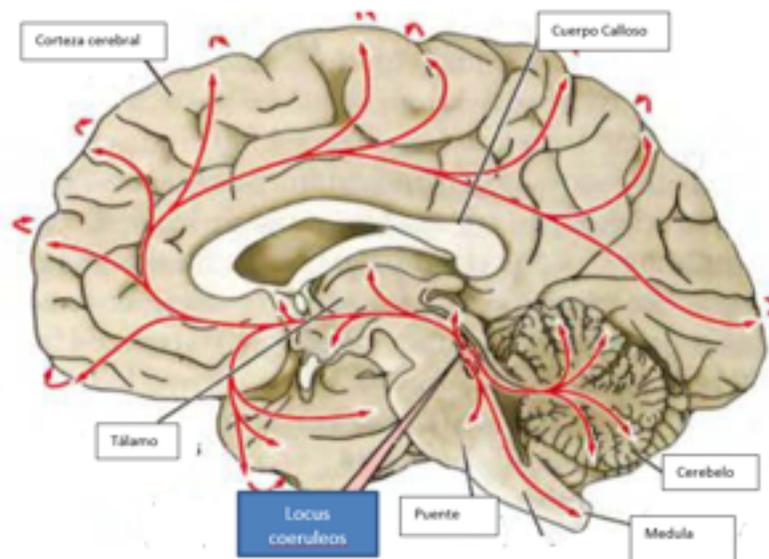


Figura 11. Síntesis de Dopamina en el encéfalo. Distribución en el encéfalo las estructuras relacionadas con la Noradrenalina y sus proyecciones
Fuente: Purves et al. 2008.

Adrenalina o epinefrina

Este neurotransmisor se encuentra en menor número de catecolaminas en comparación con las demás. De la misma forma que la dopamina y la noradrenalina es sintetizada por la tirosina, cuando llega a noradrenalina, se presenta la enzima fentolamina N-metiltransferasa (PNMT), que la convierte en adrenalina (ver figura 12).

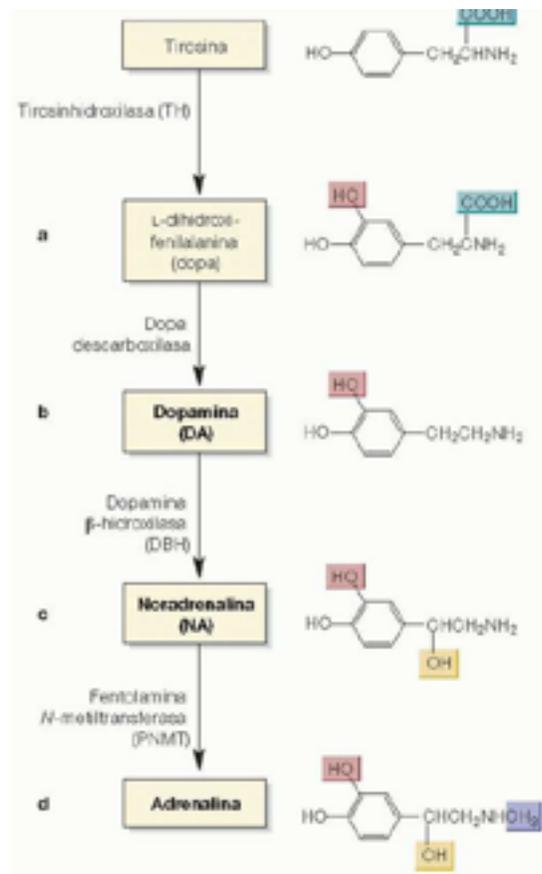


Figura 12. Síntesis de la adrenalina, desde la tirosina, pasando por la dopamina, noradrenalina y por último a adrenalina

Fuente: Purves et al. 2008.

Se produce principalmente en la estructura encefálica del sistema tegmental lateral y en el bulbo raquídeo, proyectándose (envía señal) al hipotálamo y tálamo. No se ha reportado un transportador específico, pero lo pueden hacer los mismos encargados de la dopamina y la noradrenalina (ver figura 13).

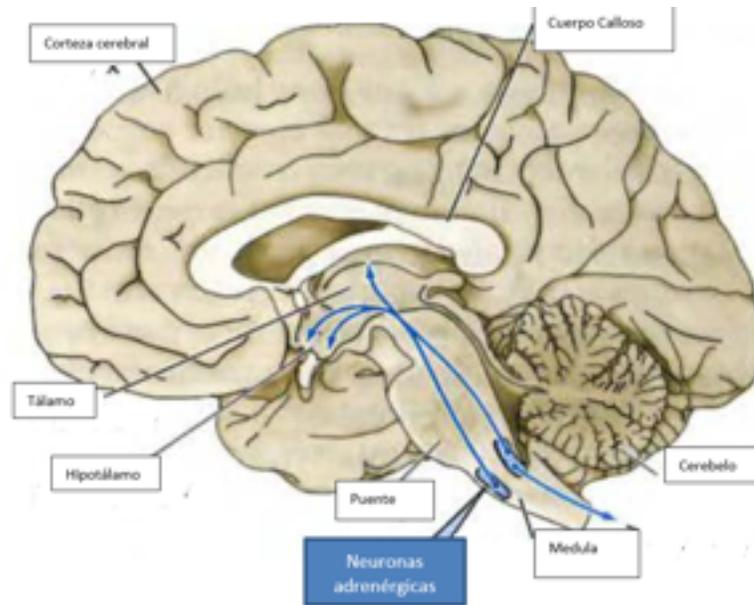


Figura 13. Distribución en el encéfalo las estructuras relacionadas con la adrenalina y sus proyecciones
Fuente: Purves et al. 2008.

En conclusión, las catecolaminas son transportadas al interior de las vesículas gracias al VMAT y son destruidas enzimáticamente por la acción de la monoaminoxidasa (MAO) o la COMT (Bear et al 2008).

Serotonina

La serotonina o 5-hidroxitriptamina (5-HT) se sintetiza a partir del aminoácido **triptófano**, el cual se convierte en hidroxitriptófano por la enzima triptófano hidroxilasa que luego es convertido en serotonina por la enzima descarboxilasa (figura 14). La fuente del triptófano cerebral es la sangre y la fuente del triptófano sanguíneo la constituyen los alimentos (cereales, carne y productos lácteos).

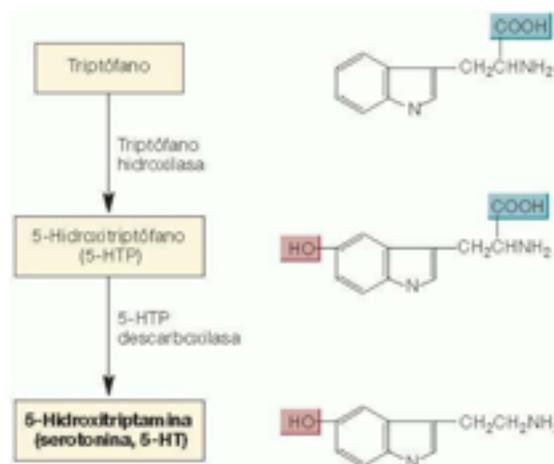


Figura 14. Proceso de sintetización de la serotonina comenzando por el triptófano que se convierte en el 5-hidroxitriptofano y por último se convierte en serotonina
Fuente: Purves et al. 2008.

Este neurotransmisor es producida en los Núcleos de Rafe de la protuberancia y el tronco del encéfalo superior (ver figura 15). Su principal función es regular el estado de sueño y vigilia, regular el comportamiento emocional y el humor.

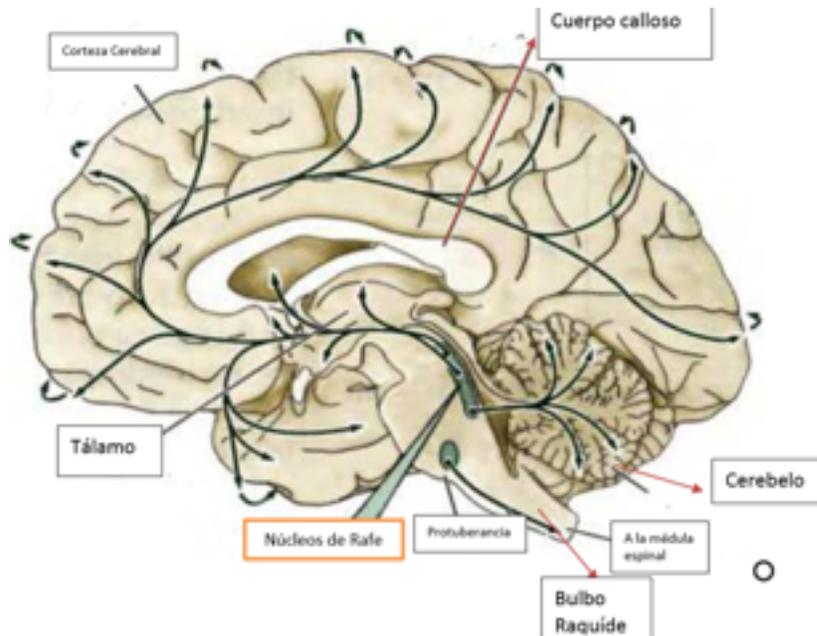


Figura 15. Distribución en el encéfalo las estructuras relacionadas con la serotonina y sus proyecciones
Fuente: Purves et al. 2008.

La 5HT es cargada en las vesículas por medio del Transportador vesicular de monoaminas: **VMAT**, además es recaptada del espacio sináptico por el transportador específicos de 5HT: **SERT**, sobre los que actúan los antidepresivos. Finalmente, las enzimas que degradan la 5HT son la MAO y la COMT.

Histamina

Este neurotransmisor es producido por un aminoácido de histidina, quien por la histidina descarboxilasa se convierte en histamina. Los cuerpos celulares de las neuronas histaminérgicas están en un único lugar del encéfalo, el núcleo tuberomamilar, situado en la parte posterior del hipotálamo (ver figura 16). Este envía proyecciones difusas a casi todo el encéfalo y medula espinal. Está muy relacionado con funciones como la atención (lograr están durante un tiempo determinando en una actividad) y el despertar. Además, se ha encontrado que es de gran importancia en el sistema vestibular (encargado del equilibrio, un tema que retomaran en la asignatura atención, sensación y percepción). Las reacciones alérgicas producen su liberación.

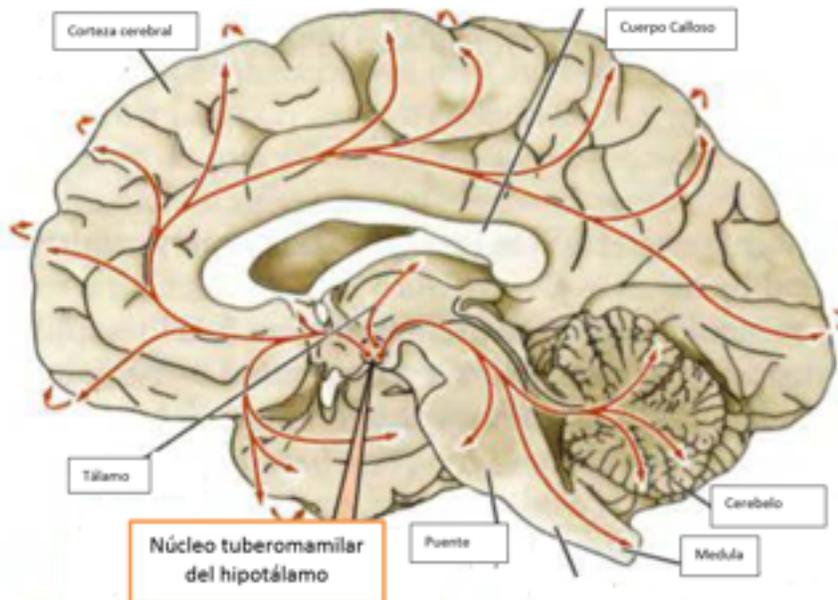


Figura 16. Distribución en el encéfalo las estructuras relacionadas con la histamina y sus proyecciones
Fuente: Purves et al. 2008.

Este neurotransmisor es transportado en vesículas por el mismo VMAT y es eliminado por la histamina metiltransferasa. Los antihistamínicos modernos usados para tratar síntomas alérgicos no atraviesan la barrera hematoencefálica, de modo que carecen de efectos directos sobre el encéfalo.

Aminoácidos

Glutamato

El glutamato es neurotransmisor excitatorio sintetizado a partir de la glutamina quien gracias a la glutaminasa es convertido en glutamato. Este neurotransmisor es transportado al interior de las vesículas por el transportados de glutamato **VGLUT** (ver figura 17).

Una vez es liberado el glutamato en el espacio extracelular, los astrocitos lo recaptan por medio de los transportadores exitatorios de glutamato: **EATT**. Una vez dentro del astrocito, el glutamato es degradado y convertido en glutamina por la glutamina sintetasa. Esta glutamina es luego transportada fuera del astrocito hacia el botón terminal de la neurona.

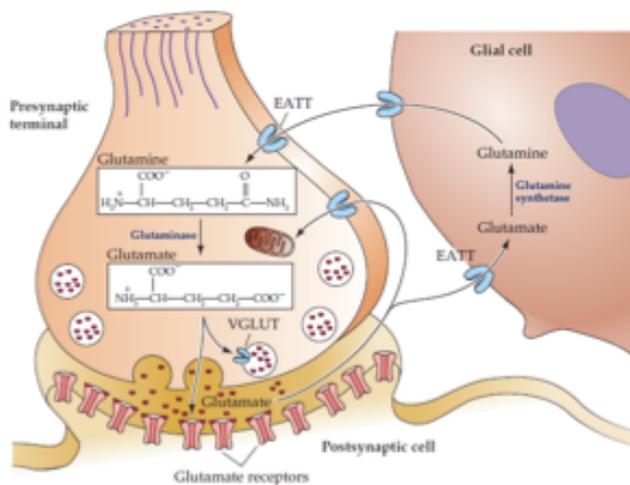


Figura 17. Síntesis del Glutamato. La imagen muestra la síntesis del glutamato y las enzimas necesarias para su transporte y degradación
Fuente: Purves et al. 2008.

Este neurotransmisor está presente en la mayoría de sinapsis excitatorias de todo el sistema nervioso central siendo fundamental para las funciones sensoriales, motoras y cognitivas.

Los investigadores han descubierto cuatro tipos principales de receptores de glutamato: 1) receptor de NMDA, 2) receptor de AMPA, 3) receptor de cainato y 4) receptores metabotrópicos de glutamato.

Ácido -aminobutírico (GABA)

El GABA es el neurotransmisor inhibitorio por excelencia, sintetizado a partir del glutamato que gracias al ácido glutámico descarboxilasa (GAD) y el fosfato piridoxal se convierte en GABA (ver figura 18). Este neurotransmisor es transportado al interior de las vesículas por el transportador vesicular inhibitorio de amino ácidos: **VIATT**.

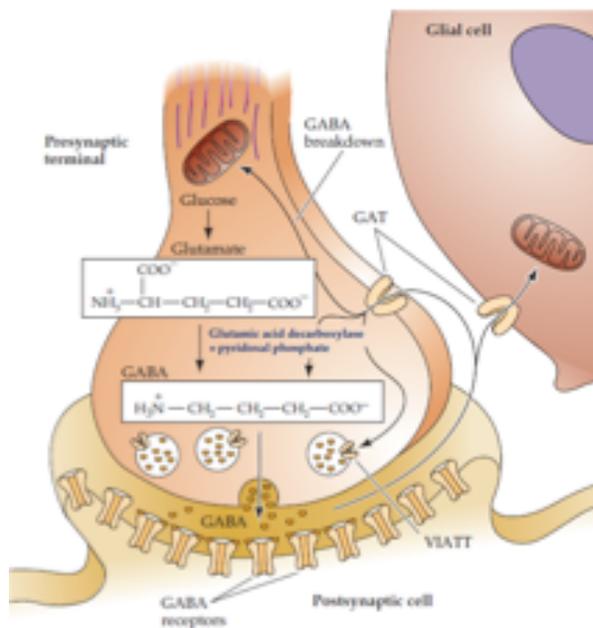


Figura 18. Síntesis de GABA y Glicina. La imagen muestra las enzimas necesarias para la síntesis, transporte y recaptación del GABA
Fuente: Purves et al. 2008.

Este neurotransmisor se encuentra distribuido por todo el encéfalo y es producido principalmente por las interneuronas corticales extendidas y vías de proyecciones largas.

En conclusión, todos los neurotransmisores tienen una enzima que los sintetizan (ver figura 19), transportadores vesiculares, enzimas que lo recaptan y degradan. Cada uno tiene un lugar encefálico donde son producidos y envían proyecciones a otras áreas. Es importante mencionar que estos neurotransmisores deben estar en cantidades específicas para cumplir de manera adecuada con sus funciones específicas. Cuando estos niveles están alterados o desbalanceados se pueden producir trastornos como la depresión, la ansiedad o el parkinson entre otros.

| Transmisor | Enzimas | Actividad |
|-------------------------------|--|-------------------------------|
| Acetilcolina | Acetiltransferasa de colina | Específica |
| Aminas biógenas | | |
| Dopamina | Tirosina hidroxilasa | Específica |
| Noradrenalina | Tirosina hidroxilasa y dopamina β -hidroxilasa | Específica |
| Adrenalina | Tirosina hidroxilasa y dopamina β -hidroxilasa | Específica |
| Serotonina | Triptófano hidroxilasa | Específica |
| Histamina | Histidina descarboxilasa | Especificidad incierta |
| Aminoácidos | | |
| Ácido γ -aminobutírico | Descarboxilasa de ácido glutámico | Probablemente específica |
| Glicina | Enzimas que operan en el metabolismo general | Vía específica no determinada |
| Glutamato | Enzimas que operan en el metabolismo general | Vía específica no determinada |

Figura 19. Resumen de los neurotransmisores. El cuadro muestra las enzimas precursoras y la actividad. Imagen obtenida de Fuente: Kandel. 2001.

Neuropeptidos

Los **neuropéptidos** son moléculas formadas por la unión de dos o más aminoácidos. Muchos de los neurotransmisores de molécula grande son conocidos como hormonas. Los neuropéptidos se han agrupado de una forma no estricta en cinco grupos, péptidos de encéfalo/intestino, péptidos opioides, péptidos hipofisarios, hormonas liberadoras hipotálamicas y una última categoría general que contiene otros péptidos que no se categorizan fácilmente.

Las funciones de los neuropéptidos son servir como mecanismos del aprendizaje y la memoria, regular la ingesta de comida y bebida, el comportamiento sexual, controlar o regular el dolor, controlar la presión arterial entre otros.

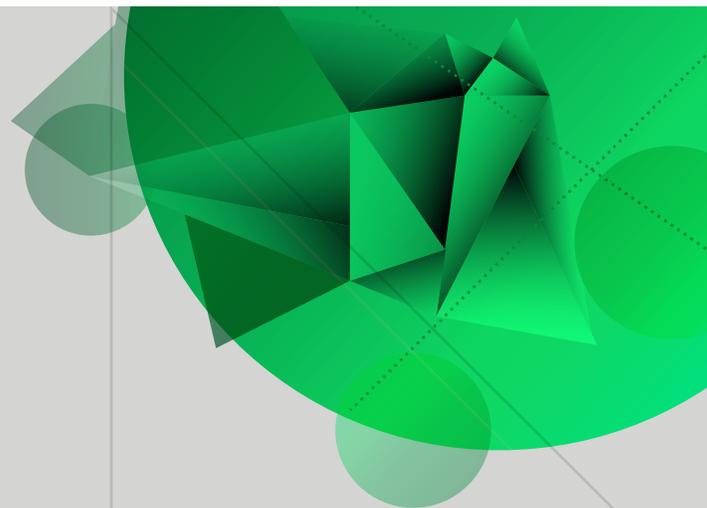
Conclusiones

En conclusión, los neurotransmisores de molécula pequeña (aminoácidos y aminas) median acciones sinápticas rápidas y permiten la comunicación entre una neurona y otra, mientras que los neuropéptidos son grandes moléculas que modulan funciones sinápticas en curso y más lentas. Asimismo, las neuronas pueden sintetizar y liberar dos o más neurotransmisores diferentes. Y son estos neurotransmisores los que nos permiten entender lo que pasa en el medio, sentir una caricia, escuchar un grito, ver un color, saborear un helado y responder a esto, ya sea apretando la mano, tapándose los oídos, abriendo los ojos o moviendo la lengua.

3

Unidad 3

Sistema Nervioso



Neuroanatomía Funcional

Introducción

La importancia de las neuronas se ha descrito en las semanas anteriores, así como su funcionamiento individual, pero desde este apartado se describirán cada una de las estructuras que componen el sistema nervioso, teniendo siempre presente que estas estructuras están compuestas por millones de neuronas.

Es necesario enfatizar que cada región tiene varias subdivisiones o núcleos que permiten su asociación con otras áreas y así generar integración de la información para responder ante el medio de manera adecuada según las necesidades de éste.

Es de gran importancia desde cualquier área aplicada de la psicología conocer, identificar y relacionar las estructuras encefálicas con el comportamiento, ya que como ya se mencionó desde el principio, nosotros pensamos, actuamos, sentimos y somos lo que somos gracias a nuestro encéfalo en interacción con el ambiente; e independientemente de si en su vida profesional se desempeñarán como psicólogos clínicos, sociales, jurídicos, comunitarios u organizacionales siempre estarán en contacto con personas.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual dedicara a sus lecturas o investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante presente una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planeé los espacios y horas de estudios que dedicara al módulo, de esta manera evitara distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos entre otros, que le permitan organizar la información de forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquellos términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo (complementarias) sugeridas, si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.) no es adecuado estar levantándose de sus puestos para ir a buscar algún material, genera la pérdida de las ideas trabajadas.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, ir al baño).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Recuerden que la cartilla no debe ser el único recurso de consulta del tema.

Sistema Nervioso

Cuando hablamos del Sistema Nervioso nos referimos a sus dos divisiones: el Sistema Nervioso Central (SNC), compuesto por el encéfalo y la médula espinal; y el Sistema Nervioso Periférico (SNP), dividido en el sistema somático y el sistema nervioso autónomo (figura 1).

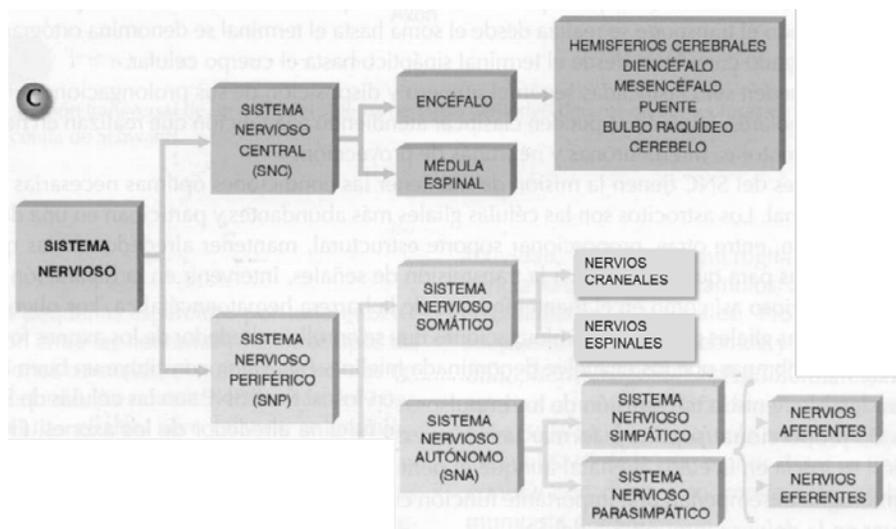


Figura 1. Sistema nervioso

Fuente: Abril et al. 2009.

Se subdivide en dos sistemas más, el sistema nervioso central (compuesto por encéfalo y médula) y el sistema nervioso periférico (sistema nervioso somático y autónomo), los cuales componen la explicación de todas las conductas y comportamientos de nuestro día a día.

En esta cartilla abordaremos únicamente el sistema nervioso central.

Dominancia

Cada vez que comemos, escribimos o nos peinamos utilizamos principalmente una de las manos, izquierda o derecha, esto nos da un indicio de la dominancia hemisférica. En todas las personas se presenta un hemisferio cerebral con mayor predominancia que el otro.

Como en todos los mamíferos, nuestro cerebro tiene dos grandes divisiones, las cuales se denominan **hemisferios cerebrales**. El **hemisferio cerebral derecho** recibe sensaciones y controla los movimientos del lado izquierdo del cuerpo, mientras que el **hemisferio cerebral izquierdo** recibe sensaciones y controla los movimientos del lado derecho del cuerpo. Pero ¿cómo hace nuestro hemisferio izquierdo para saber la información que está recibiendo el hemisferio derecho y viceversa? La respuesta es simple: gracias al cuerpo caloso, un haz de fibras que une y comunica ambos hemisferios.

Asimismo, nuestro encéfalo presenta ranuras o hendiduras en la superficie que se llaman **surcos** o **cisuras** y protuberancias o zonas elevadas entre las cisuras que se llaman **circunvoluciones** o **giros**.

Las estructuras encefálicas que están al mismo lado se denominan estructuras **ipsilaterales** y, por tanto, se habla de vías ipsilaterales cuando conectan zonas del mismo lado del cuerpo o estructuras del mismo lado del sistema nervioso. Por otro lado, estructuras en lados opuestos, reciben el nombre de estructuras **contralaterales** y, en consecuencia, las vías contralaterales se inician en un lado del cuerpo (izquierdo o derecho) y terminan en el otro (derecho o izquierdo). Pero si la información se trasfiere a los dos hemisferios se denominaría bilaterales.

“¡profesor!, pero si soy ambidiestro ¿tendré los dos hemisferios dominantes? No, siempre uno de los dos hemisferios tendrá más dominio que el otro, en el caso que se plantea es que presenta unas habilidades en los dos hemisferios, pero si lo vemos en una situación de peligro o de alerta se evidenciará la respuesta con el hemisferio dominante.

Referencias anatómicas

Antes de conocer las estructuras encefálicas, debemos orientarnos en el espacio cerebral, ya que pocas veces veremos imágenes del encéfalo completo, por el contrario, lo veremos diseccionado o por cortes. Las vistas que se presentan tienen 6 formas, mientras que los cortes se clasifican en 3.

Para hablar de las referencias anatómicas se puede tomar las direcciones de estructuras conocidas, como por ejemplo cuando hablamos de la dirección que apunta hacia la nariz o el rostro, se conocerá como una vista anterior o rostral, mientras que si queremos referirnos a

la vista desde la espalda hablamos de la vista posterior o caudal (lado contrario de la rostral). La dirección que va hacia arriba (coronilla) se conoce como dorsal, mientras que la que se realiza hacia abajo (cuello) será denominada vista ventral (ver figura 2). Si estamos viendo los lados del encéfalo, los que van hacia los pabellones auditivos (orejas) se conocen como vista lateral y los que presentan de forma integrada hacia la mitad del encéfalo serán parte de la vista medial (ver figura 3).

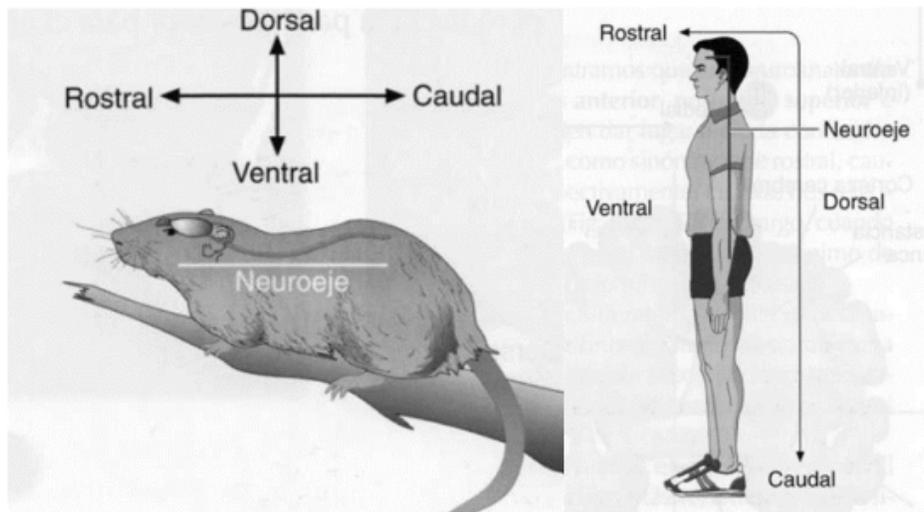


Figura 2. Neuroeje y forma de identificarlos, desde una vista ventral, dorsal y las formas de ver rostral y caudal
Fuente: Abril et al. 2009.

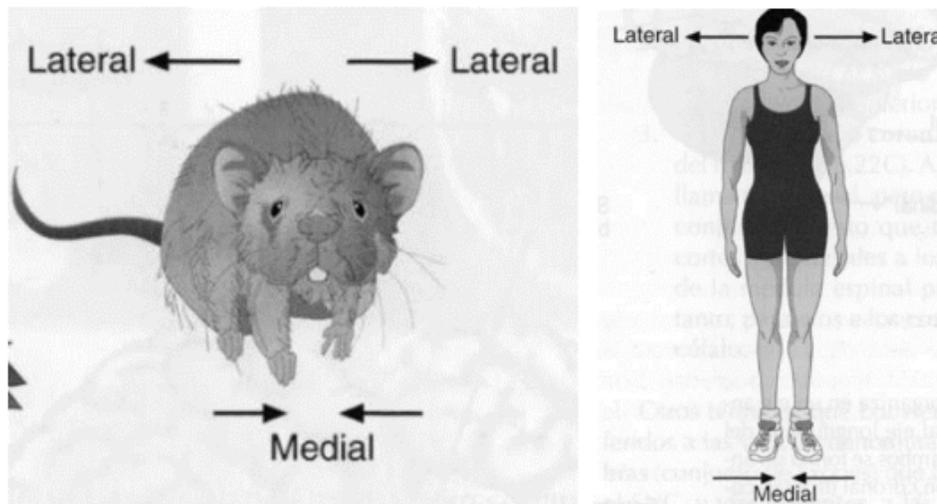


Figura 3. Vistas de tipo lateral y medias ejemplificadas en un roedor
Fuente: Abril et al. 2009.

Por otro lado, el cerebro se puede diseccionar o cortar de diferentes formas para obtener vistas mucho más específicas de las estructuras encefálicas. Las técnicas o pruebas de diagnóstico como la tomografía axial computarizada (TAC), la resonancia magnética funcional (fMRI) y otras, obtienen las imágenes generando cortes para poder identificar anomalías en el interior del encéfalo o fallas en su funcionamiento.

El primero a trabajar es el corte de tipo sagital (ver figura 4), en el que se hace un corte que divide el encéfalo en dos mitades simétricas lado derecho y lado izquierdo, por tal razón logramos identificar las vistas de tipo laterales o mediales.

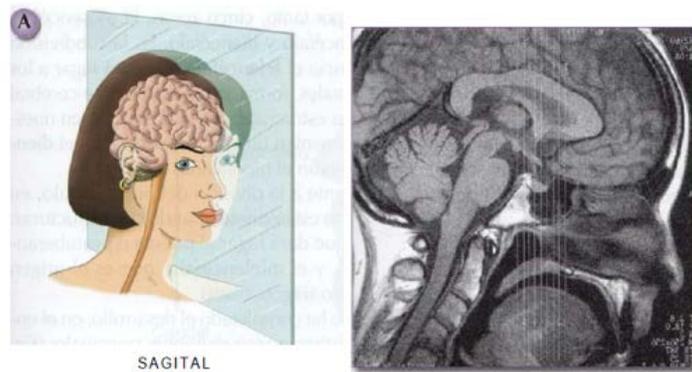


Figura 4. Corte sagital
Fuente: Abril et al. 2009.

En la imagen del lado izquierdo se ve el corte sagital y en la imagen del lado derecho se identifica una resonancia con un corte sagital permitiendo tener una vista medial del encéfalo.

El segundo que podemos encontrar es el corte horizontal (ver figura 5) divide al encéfalo en partes superior e inferior y con este podemos identificar las vistas de tipo dorsal (superior) y las vistas de tipo basal-ventral (inferior).

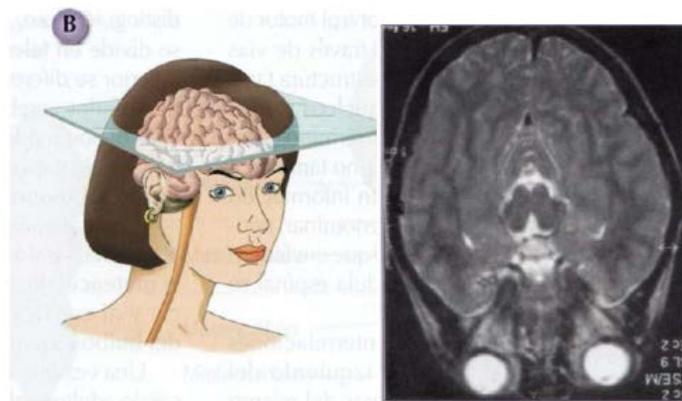


Figura 5. Corte horizontal
Fuente: Abril et al. 2009.

Finalmente, el encéfalo puede ser diseccionado mediante un corte coronal o transversal (ver figura 6) en el cual separamos el encéfalo en anterior y posterior logrando tener una vista rostral o posterior.



Figura 6. Corte coronal-transversal
Fuente: Abril et al. 2009.

En la imagen del lado izquierdo se ve cómo se realizaría un corte de tipo coronal y en el lado derecho una resonancia magnética con una vista posterior.

Por otro lado, para poder continuar es necesario que tengamos claro algunos términos que se repetirán frecuentemente en lo que resta de curso, para esto deben revisar la siguiente tabla.

| Nombre | Descripción y ejemplo |
|----------------|---|
| Sustancia Gris | Nombre genérico de un conjunto de cuerpos celulares de neuronas en el SNC. Cuando se disecciona un cerebro fresco, las neuronas tienen un aspecto gris. |
| Corteza | Cualquier conjunto de neuronas que forman una fina capa, habitualmente en la superficie del cerebro. Ejemplo: corteza cerebral, la capa de neuronas que se encuentra justo bajo la superficie del cerebro. |
| Núcleo | Masa de neuronas claramente distinguible, habitualmente en el interior del cerebro (no se debe confundir con el núcleo de una célula). Núcleo proviene de la palabra en latín para «nuez» o centro. Ejemplo: núcleo geniculado lateral, un grupo de células del tronco cerebral que lleva la información del ojo a la corteza cerebral. |
| Sustancia | Grupo de neuronas relacionadas en el interior del cerebro, pero habitualmente con bordes menos definidos que los de los núcleos. Ejemplo: sustancia negra, un grupo celular del tronco del encéfalo implicado en el control del movimiento voluntario. |

| | |
|----------------------|--|
| Locus (plural: loci) | Un pequeño grupo de células, bien definido. Ejemplo: locus caeruleus, un grupo de células del tronco del encéfalo implicado en el control de la vigilia. |
| Ganglio | Conjunto de neuronas del SNP. Ganglio procede de la palabra griega para «nudo». Ejemplo: ganglios de la raíz dorsal, que contienen los cuerpos celulares de los axones sensitivos que entran a la médula espinal por las raíces dorsales. Sólo un grupo de células del SNC tiene este nombre: los ganglios basales, que son estructuras localizadas en la profundidad del cerebro que controlan el movimiento. |

Tabla 1. Términos anatómicos frecuentemente utilizados en la cartilla
Fuente: Bear, Connors, Paradiso. 2008.

Sistema Nervioso Central

Este sistema se encuentra ubicado en el interior de la bóveda craneal y se componen del encéfalo y la médula espinal.

Para entrar en detalles se debe recordar que el sistema nervioso se desarrolla a partir de las 3 vesículas primarias, Prosencéfalo, Mesencéfalo y Romboencéfalo, que se desarrollan todas las regiones encefálicas. En la tabla 2 podemos ver las tres vesículas primarias o divisiones principales se subdividen nuevamente y dan lugar a las estructuras principales encefálicas.

| División principal | Subdivisión | Estructuras principales |
|--------------------|--------------|-------------------------|
| Prosencéfalo | Telencéfalo | Corteza cerebral |
| | | Núcleos basales |
| | | Sistema límbico |
| | Diencefalo | Tálamo |
| | | Hipotálamo |
| Mesencéfalo | Mesencéfalo | Techo Tegmento |
| Romboencéfalo | Metencéfalo | Cerebelo |
| | | Protuberancia |
| | Mielencéfalo | Bulbo raquídeo |

Tabla 2. Vesículas primarias con sus divisiones
Fuente: Carlson. 2014.

La tabla muestra las divisiones principales del encéfalo con sus subdivisiones y estructuras principales, los cuales componen el sistema nervioso central.

Prosencéfalo

Esta vesícula también se conoce como cerebro anterior y se subdivide en dos partes, telencéfalo y Diencefalo.

Para la comunicación con otras regiones las neuronas del prosencéfalo extienden sus axones hacia otras partes del sistema nervioso. Estos axones generan agrupaciones las cuales podemos dividir en 3 principales, la sustancia blanca cortical, el cuerpo caloso y la capsula interna (figura 7C). La sustancia blanca cortical presenta los axones que se dirigen o provienen de la corteza cerebral. El cuerpo caloso contiene la sustancia blanca cortical y forma un puente entre los hemisferios cerebrales. La sustancia blanca cortical continua con la capsula interna la cual se comunica la corteza del tronco del encéfalo.

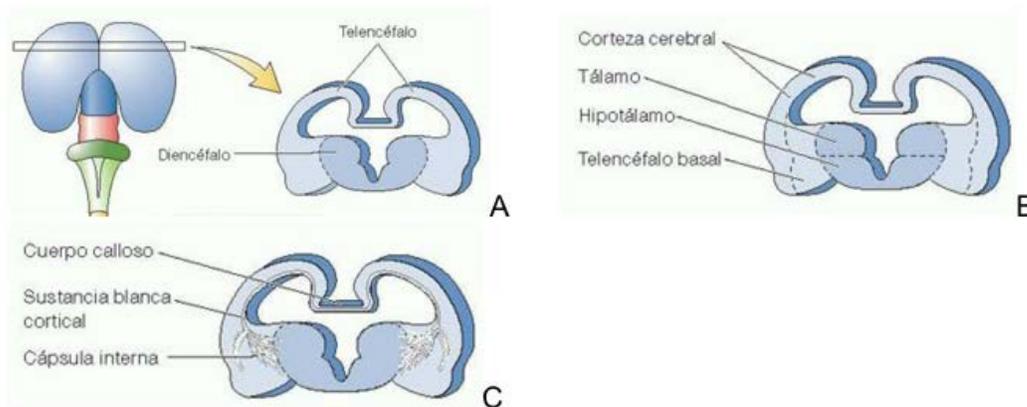


Figura 7. Desarrollo Prosencéfalo.
Fuente: Bear et al. 2008.

A. división vesículas secundarias desde el prosencéfalo. B división del diencefalo. C agrupaciones axónales generadas por las vesículas secundarias

Telencéfalo

El telencéfalo se sitúa por encima del diencefalo (figura 7A). se puede encontrar la corteza cerebral, los núcleos basales y el sistema límbico. Las cuatro regiones que se desarrollan a partir del telencéfalo, las conocemos como lóbulos y presentan diferencia según la función que desempeñan.

Corteza (Lóbulos cerebrales)

Cuando hablamos de la corteza cerebral pensamos en las dos divisiones hemisféricas que a su vez podemos subdividir en los lóbulos cerebrales, los cuales reciben su nombre por los huesos que los recubren o protegen. Dentro de los lóbulos están el lóbulo frontal, el parietal, temporal, occipital y de la ínsula. Para poder identificarlos de la mejor manera, se presentan unas delimitaciones gracias a los surcos o cisuras que presenta la corteza cerebral (figura 8).

La **cisura de Silvio** (cisura lateral) separa al lóbulo temporal de los lóbulos frontal y parietal. La ínsula, una porción de la corteza que no crece mucho durante el desarrollo, se encuentra profundamente oculta dentro de dicha cisura.

La cisura **circular** (o circuninsular) rodea a la ínsula y la separa de los lóbulos frontal, parietal y temporal adyacentes.

Los hemisferios se encuentran separados por una profunda cisura intermedia, la **cisura interhemisférica** (o longitudinal del cerebro).

La **cisura de rolando** (surco central) separa al lóbulo frontal del parietal y surge alrededor de la parte media del hemisferio, iniciándose cerca de la cisura interhemisférica y se extiende hacia abajo y adelante hasta aproximadamente 2.5 cm por encima de la cisura de Silvio.

La **cisura parietotemporoccipital** pasa a lo largo de la superficie media de la porción posterior del hemisferio cerebral y después viaja hacia abajo y adelante en forma de una hendidura profunda. Esta cisura divide al lóbulo parietal del occipital.

La **cisura calcarina** inicia en la superficie medial del hemisferio, cerca del polo occipital, y se extiende hacia adelante hasta un área ligeramente por debajo del esplenio o rodete del cuerpo calloso (Waxman, 2011).

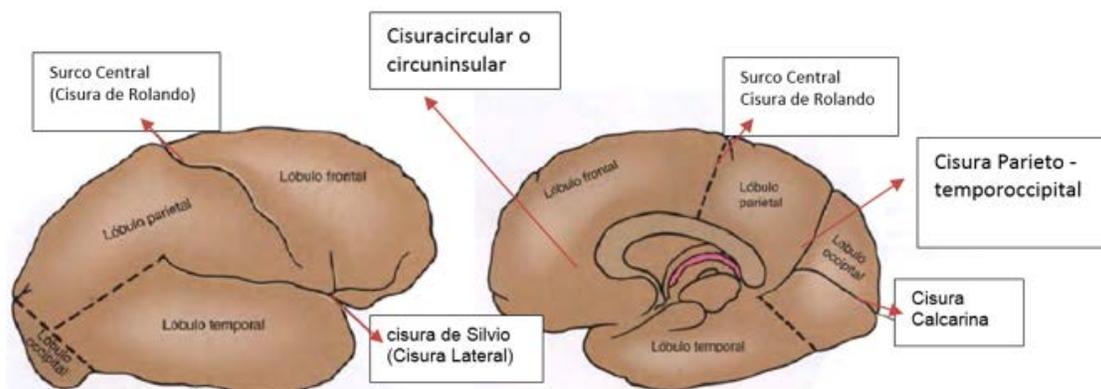


Figura 8. Cisuras cerebrales. Diferenciación de los diferentes lóbulos a partir de las cisuras
Fuente: Snell, 2007.

Una vez mencionada una de las formas para diferenciar cada uno de los lóbulos, vamos a entrar en detalle acerca de sus funciones características sin profundizar en todas las regiones que los conforman.

Antes de explicar cada una de las regiones que componen la corteza cerebral, es importante hablar de una clasificación de las áreas encefálicas llamadas las áreas de Brodmann (llevan el nombre del autor que realizó el mapa con ayuda de los descubrimientos de autores a lo largo del estudio del cerebro), la cual está constituida con base en su citoarquitectura (disposición de las células) usando la tinción de Nissl (ver figura 9).

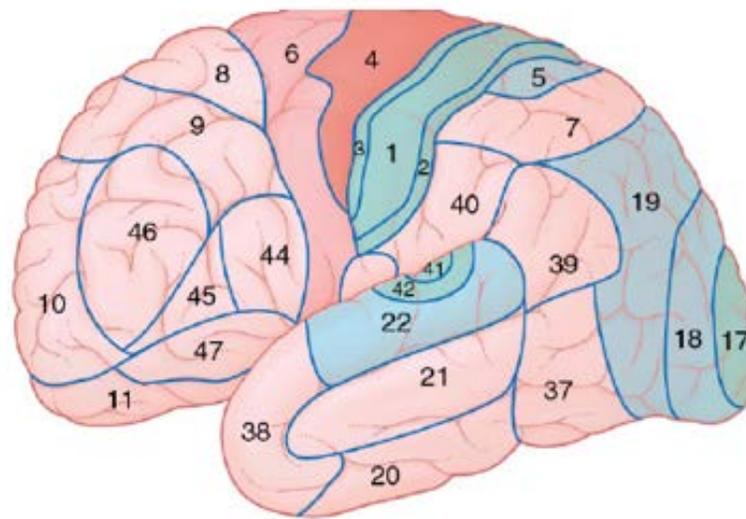


Figura 9. Áreas de Brodmann. La imagen muestra la distribución de las áreas de Brodmann en los diferentes lóbulos del encéfalo

Fuente: Turlough, Gregory, Estomih. 2012.

Lóbulo frontal

Se encuentra en la parte anterior al surco central (para guiarnos podemos encontrarla en la parte del frente) presenta una distribución anterior de tres regiones anatómicamente distintas (región dorsolateral, la medial y la orbital), pero también se encuentra compuesta por otras áreas cerebrales como lo son las áreas motoras primarias, campos oculares y la corteza prefrontal. En términos generales este lóbulo se encarga de la personalidad, funciones ejecutivas (planeación, ejecución e inhibición de la conducta), lenguaje (productivo) y conductas motoras (ver figura 10).

Áreas dorsolateral (9 según Brodmann): es el área encargada de la planeación de la información, esto quiere decir que es la encargada de que cuando te vas a dormir y quieres dejar las cosas listas para el otro día puedas hacerlo (dejar lista la ropa que vas a usar, los recorridos que debes realizar al otro día, a qué horas almuerzas y cómo vas a terminar el día).

Área ventromedial (10 según Brodmann), es la encargada de generar la ejecución de la conducta, quiere decir que una vez hecha la planeación podamos llevarla a cabo (jugar a los bolos, como debo tomar la bola y debo lanzarla para que haga lo que yo quiero)

Área orbitofrontal (11 según Brodmann), es la encargada de la inhibición de la conducta, la cual se presenta en muchos momentos de nuestro día a día. (cuando vamos en el transporte público y queremos decir y hacer muchas cosas que no son bien aceptadas y nos controlamos por no tener problemas)

Corteza motora primaria (4 según Brodmann) es el área encargada de los componentes motores que hacemos de forma voluntaria y con una función (jugar al fútbol, saludar o despedirse, coger un vaso de leche de la nevera)

Corteza premotora: es una corteza de asociación que recibe información de la mayoría de las estructuras del cerebro y las procesa de una forma más compleja. Presenta un componente mayor de neuronas piramidales.

El área del habla de broca (44 y 45 según Brodmann), es la encargada del lenguaje de tipo productivo, como decir un nombre, un trabalenguas, cantar).

El **campo ocular frontal** (8 según Brodmann) se encarga de un papel importante en el movimiento ocular, daños en esta área genera una desviación de la mirada para el lado donde se generó el daño (si se presenta un trauma craneoencefálico en el área 8 del hemisferio izquierdo, la mirada estará fijada para ese mismo lado).

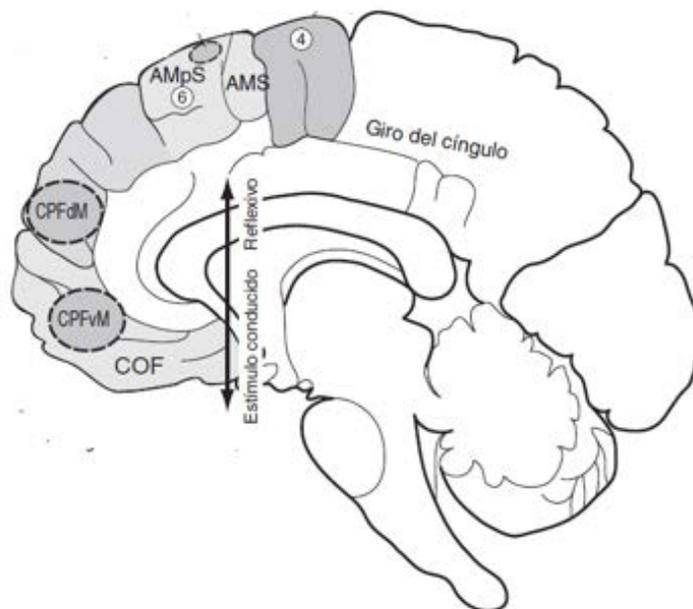


Figura 10. Lóbulo frontal
Fuente: Clark, Boutros, Méndez. 2010.

La imagen muestra la distribución del lóbulo frontal en un adulto, con un corte de forma sagital (separando los os hemisferios cerebrales) una vista medial. Indicando corteza orbitofrontal (COF) Corteza prefrontal Ventromedial (CPFvM) Corteza prefrontal dorsomedial (CPFdM) AMS, área motora suplementaria; AMpS, área motora presuplementaria.

Lóbulo parietal

Este lóbulo será ubicado justo atrás del frontal en forma dorsal del encéfalo, (la parte superior de la cabeza), está integrado por la corteza somatosensorial o según Brodmann, las áreas 1, 2 y 3, las cuales reciben aferencias del sentido somatosensorial, el cual responde ante componentes de forma, textura, tamaño, temperatura y dolores cutáneos. Además, encontraremos las áreas 5 y 7 que serían las somatosensoriales secundarias, las cuales generan una asociación con los componentes visuales y auditivos (figura 11). Se encuentra la información de orientación espacial, lateralidad y guiarse en un espacio determinado. En este lóbulo encontraremos apraxias como del vestir (se ponen la ropa interior encima de la ropa, el botones de la camisa le queda uno encima de otro) y las apraxias ideomotora/ideacional (generar una actividad bajo una orden o seguir una secuencia de actividades bajo órdenes).

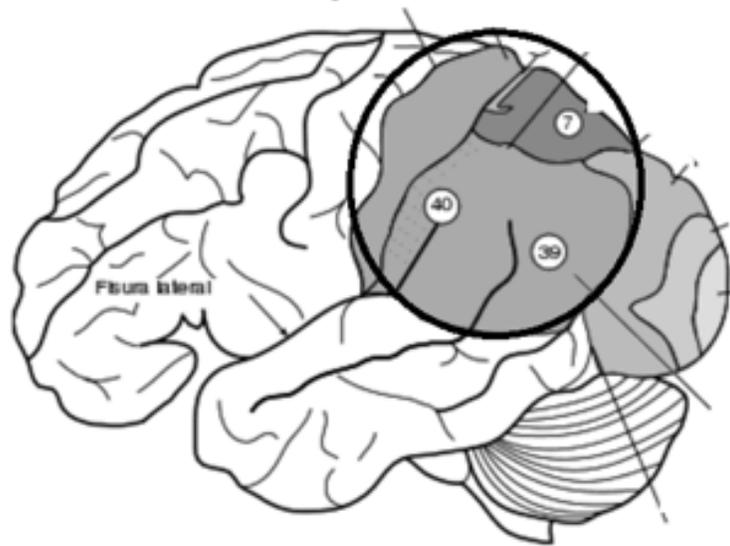


Figura 11. Lóbulo parietal
Fuente: Clark et al. 2010.

En la imagen se puede ver el lóbulo parietal en gris y cada una de las áreas que lo componen dentro del círculo, desde una vista lateral, se encuentran las áreas somatosensoriales, áreas secundarias relacionadas con los componentes propioceptivos, y límites con el lóbulo temporal y occipital.

Lóbulo temporal

Este lóbulo se encuentra en la parte basal del encéfalo, justo debajo del frontal (donde están nuestras orejas) y sus funciones principales son la memoria, la audición (primaria como secundaria) reconocimiento visual (prosopagnosia es la capacidad de reconocimiento de rostros). Aquí también vamos a encontrar las áreas 39 y 40 de Brodmann que están relacionadas con el área del lenguaje comprensivo (es decir la capacidad de entender el lenguaje), o área de **wernicke** (quien reporto su función).

Las **áreas de la audición** 41 y 42 como primarias, las cuales estarán relacionadas con los sonidos simples (notas musicales).

Áreas auditivas secundarias 22, llega la información de sonidos complejos (unión de sonidos simples, melodía, ritmo, armonía) (figura 12).

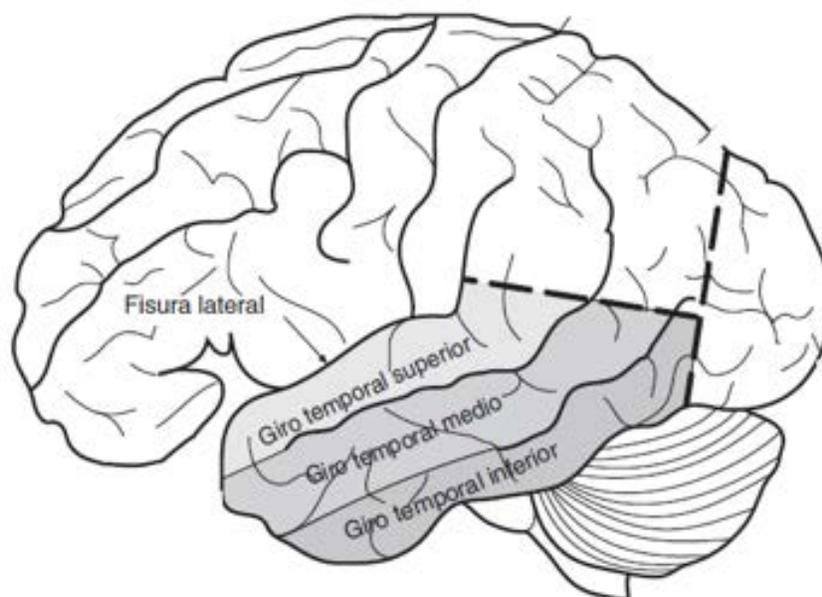


Figura 12. En la imagen se señalan las circunvoluciones que componen el lóbulo temporal, superior, medial e inferior

Fuente: Clark et al. 2010.

Lóbulo occipital

El lóbulo occipital se encuentra en la parte posterior del encéfalo (arriba de la nuca) entre los límites del lóbulo parietal y temporal, separado por el surco parietooccipital y la extremidad anterior de la fisura calcárea o calcarina. Sus funciones se dan con el sentido de la visión. Está compuesto por 3 áreas de Brodmann: 17,18,19 las cuales se encargan de la información visual. La primera que se puede encontrar es el área 17, la cual llega información más básica

de los componentes visuales (los componentes mínimos), mientras que en el área 19 se procesaría la información ya compuesta para generar una percepción (categoría, nombre y función). El área 18 sirve como área de asociación de los dos componentes anteriores (figura 13).

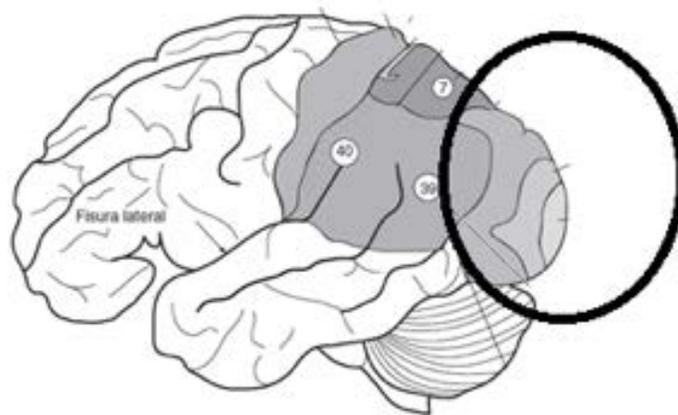


Figura 13. En la imagen se señalan las áreas según Brodmann que están ubicadas en el lóbulo occipital
Fuente: Clark et al. 2010.

Como resumen hasta el momento, en la tabla 3, se presenta una integración de los lóbulos dado el desarrollo telencéfalo y las áreas de Brodmann que los componen. Se aclara que se describen de forma separada para un mejor nivel de comprensión, pero todas las estructuras presentan una asociación con otras áreas para responder adecuadamente al ambiente, por ejemplo, para poder ver un balón que viaja directo a nuestro rostro, nuestro sistema visual (lóbulo occipital) debe percibirlo y generar un movimiento de escape o colocar nuestras manos para protegernos (lóbulo frontal motor), y responder verbalmente diciéndole a la persona que tenga cuidado (área de Broca), y si en la misma situación alguien nos alcanza a indicar "cuidado" interviene nuestro lóbulo temporal.

| | Área de Brodmann | Nombre | Función | Conexiones |
|-------------------|------------------|--|--------------------------------------|--|
| Lóbulo frontal: | 4 | Corteza motora primaria | Activación muscular voluntaria | Contribuye al tracto corticoespinal |
| | 6 | Corteza premotora | | |
| | 8 | Campo visual frontal | Movimientos oculares | Envía proyecciones al centro de mirada lateral (formación reticular pontina paramediana) |
| | 44, 45 | Área de Broca | Aspectos motores del habla | Se proyecta al área de Wernicke a través del fascículo arqueado |
| Lóbulo parietal: | 3, 1, 2 | Corteza sensorial primaria | Somatosensorial | Información entrante de los núcleos VPL, VPM |
| Lóbulo occipital: | 17 | Corteza estriada = corteza visual primaria | Procesamiento de estímulos visuales | Estimulación únicamente del geniculado lateral Se proyecta a las áreas 18, 19 |
| | 18, 19 | Corteza extraestriada = corteza de asociación visual | Procesamiento de estímulos visuales | Estimulación del área 17 |
| Lóbulo temporal: | 41 | Corteza auditiva primaria | Procesamiento de estímulos auditivos | Entrada de información del geniculado medial |
| | 42 | Corteza de asociación auditiva | | |
| | 22 | Área de Wernicke | Comprensión del lenguaje | Entradas de la corteza de asociación auditiva, corteza de asociación visual, área de Broca (a través del fascículo arqueado) |

Tabla 3. Distribución de las principales funciones de los diferentes lóbulos cerebrales, con las áreas de Brodmann correspondientes y las conexiones que realizan
Fuente: Waxman. 2011.

Núcleos de la base (núcleos basales)

Son grupos de neuronas de tamaño similar que se encuentran ubicados por debajo de la porción anterior de los ventrículos laterales. Los núcleos basales están compuestos por el núcleo caudado, el núcleo pálido y putamen (ver figura 14), los cuales forman una parte importante del sistema motor. Su principal función está relacionada con el control de movimiento, por ejemplo, daños en estas estructuras pueden ocasionar enfermedad de Parkinson.

Una de sus divisiones es el núcleo **neostriado** (núcleo caudado y el putamen) el cual recibe información sensorial de todas las regiones de la corteza cerebral. También recibe información de los lóbulos frontales concerniente a los movimientos que se planifican o están en curso.

Globo pálido, es otro de los núcleos de los ganglios, este transmite información desde el putamen y el caudado hasta el tálamo.

Núcleo accumbens, es un núcleo que recibe información de reforzamiento y se conecta con el sistema límbico. Este núcleo es considerado el centro del placer, toda conducta que es reforzada genera una inervación de dopamina en él.

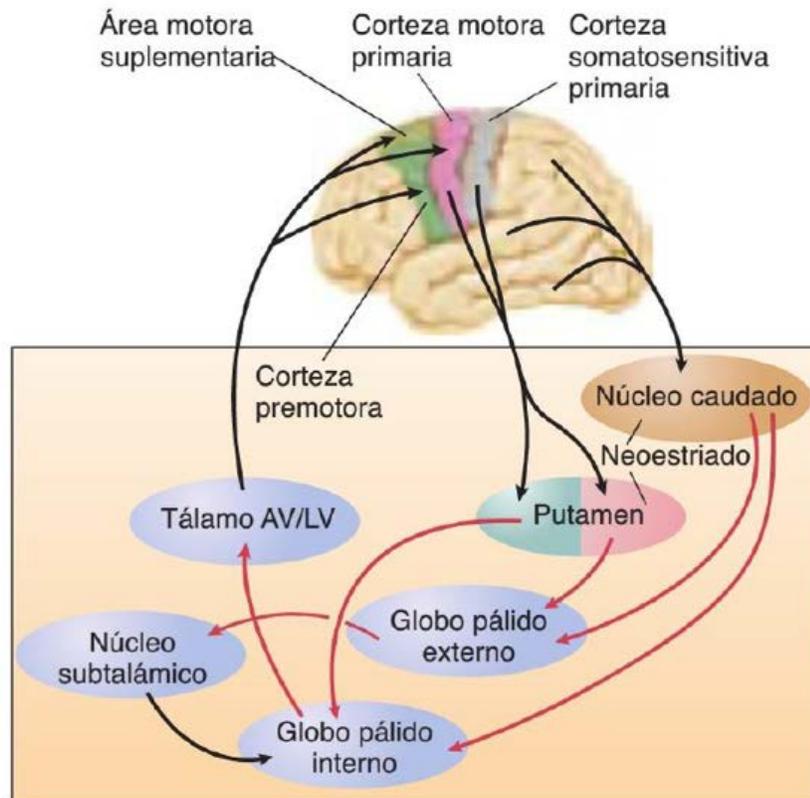


Figura 14. Diagrama esquemático de los núcleos basales y sus conexiones, teniendo en cuenta que los ganglios reciben información sensorial de la corteza y la retroalimentan con otras vías de asociación
Fuente: Carlson 2014.

Sistema límbico

Regiones cerebrales que se encuentran implicadas en la emoción, en este sistema se integran varias estructuras como lo son, el tálamo, el hipotálamo, el hipocampo, corteza cingulada y amígdala. La neocorteza interconecta las respuestas emocionales con la cognición, quiere decir que procesos como la memoria, atención, lenguaje y demás presentan una relación con lo emocional. En la actualidad el sistema límbico se mantiene vigente en las investigaciones ligadas al concepto de cerebro emocional. Es un circuito encefálico interconectado dedicado principalmente a la motivación y a la emoción.

A lo largo de la historia el sistema límbico ha presentado cambios, pero las estructuras que lo componen son:

Hipocampo, estructura que se encarga de la memoria, de tal manera daños en esta región específica genera amnesia anterógrada (dificultad para generar nuevos recuerdos) y la amnesia retrograda (dificultad para evocar información antigua). En esta estructura se encuen-

tran los receptores MNDA, que se conectan con las espinas dendríticas del área CA3 y CA1 del hipocampo ayudando a la consolidación de la memoria.

El hipocampo está conectado con la corteza entorrinal, de esa manera las aferencias (recibe)/entrada y eferencias (envía)/salida son producidas por la corteza y luego se presentan en forma interconectadas con las cortezas asociativas.

Amígdala, estructura en el interior del lóbulo temporal rostral, que contiene varios núcleos; pertenece al sistema límbico, cumple la función principal es el procesamiento y almacenamiento de procesos emocionales.

Cuerpo calloso, es un haz de fibras que conecta el hipocampo con otras partes del encéfalo, como los cuerpos mamilares del hipotálamo; componente del sistema límbico. Está compuesta por sustancia blanca, la cual ayuda a conectar los elementos del sistema límbico de un hemisferio con el otro. Esta estructura es la que genera la unión del hemisferio izquierdo con el derecho, por eso cuando una persona presenta una callosotomía (cortan el cuerpo calloso) se conoce como un cerebro dividido.

Cuerpos mamilares protrusión del fondo del encéfalo en el extremo posterior del hipotálamo, que contiene varios núcleos hipotalámicos; parte del sistema límbico (ver figura 15).

En las estructuras que componen el sistema límbico también se encuentran el tálamo y el hipotálamo, no se colocaron en este apartado debido a que también pertenecen a otra clasificación y se describieron en el desarrollo diencefálico.

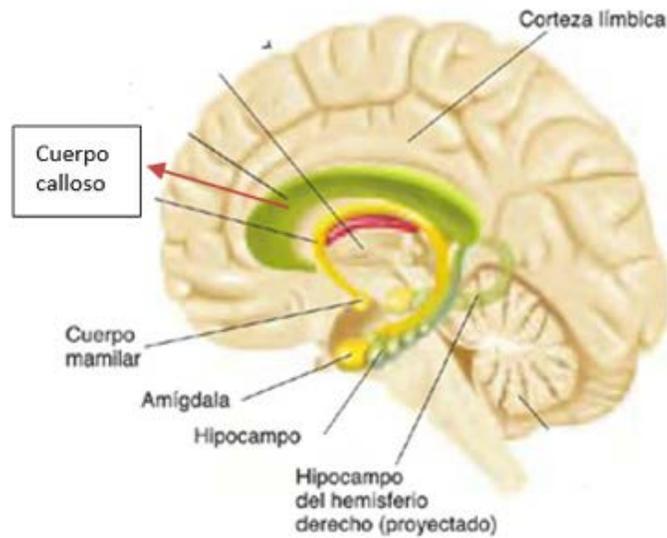


Figura 15. componentes principales del sistema límbico, como el cuerpo calloso, cuerpos mamilares, amígdala, hipocampo, corteza límbica
Fuente: Carlson, 2014.

Diencefalo

Es la segunda división que presentara el Prosencéfalo, el cual está cubierto dorsal y lateralmente por los hemisferios cerebrales, además limita con los ventrículos laterales y el III ventrículo (lo veremos la otra semana) y contiene las estructuras tálamicas (tálamo e hipotálamo).

Tálamo

Esta estructura está situada bajo los ventrículos laterales y alrededor del III ventrículo (ver figura 16), uniéndose con la sustancia gris, por una masa denominada masa intermedia. Una de sus funciones principales es servir como estación de relevo de los sentidos, exceptuando el olfato, los cuales posteriormente se dirigirán a la corteza cerebral. Las neuronas tálamicas envían axones a la corteza a través de la cápsula interna. La capsula interna envía información a la corteza de forma contralateral.

Hipotálamo

Se localiza debajo del tálamo, colindando con los núcleos mamilares, y genera la regulación de las funciones autónomas y endocrinas (hormonas), además permite un equilibrio (homeostasis) en el cuerpo al regular la liberación de hormonas de la hipófisis (región encefálica) y manteniendo la temperatura corporal. Por último y como función principal controla las motivaciones primarias (alimentación, sueño, sexo, agresión, entre otras).

Dos regiones o glándulas que junto con el hipotálamo regulan la homeostasis del cuerpo son la **hipófisis o glándula pituitaria**, una glándula endocrina que segrega hormonas importantes (Hormona del crecimiento, Prolactina, otras) para un adecuado desarrollo. Por otro lado se encuentra la **glándula pineal**, que se encuentra localizada en la superficie dorsal del mesencéfalo, y produce la melatonina, hormona que regula los patrones del sueño (ver figura 16).

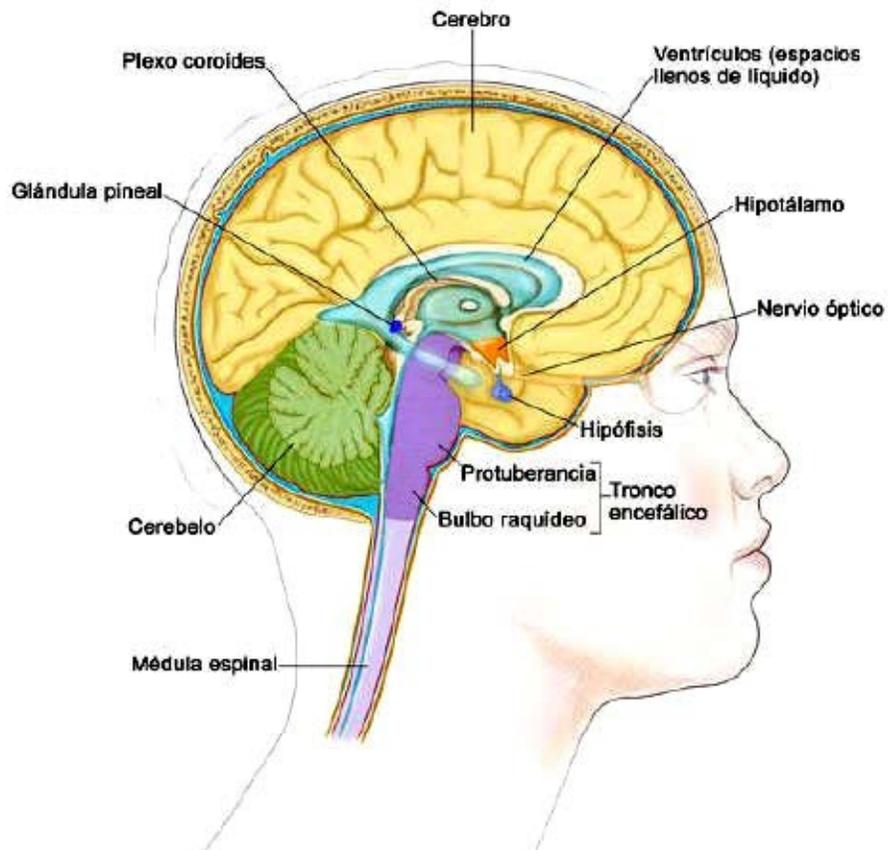


Figura 16. Estructuras que regula la homeostasis.

Fuente: https://www.bibliotecapleyades.net/imagenes_ciencia/cienci266.jpg

En la imagen podemos encontrar estructuras diencefálicas como el hipotálamo, además la hipófisis, los ventrículos y la glándula pineal.

Mesencéfalo

Es la porción más pequeña del encéfalo, no se diferencia mucho a nivel de desarrollo cerebral. Está integrado por el *tectum* (techo) que se localiza en la porción dorsal del mesencéfalo y el *tegmentum* (tegmento) situado debajo del tectum (ver figura 17). Asimismo, incluye varios núcleos como la sustancia gris periacueductal, el núcleo rojo, y la sustancia negra las

cuales controlan los movimientos oculares y son importantes en el sistema motor. A través del mesencéfalo pasa un canal denominado acueducto cerebral, el cual conecta los ventrículos laterales con el tercer ventrículo.

Como función básica sirve como conducto de paso de información de la medula al prosencéfalo y viceversa, además contiene neuronas que contribuyen a los sistemas sensoriales y control de movimiento.

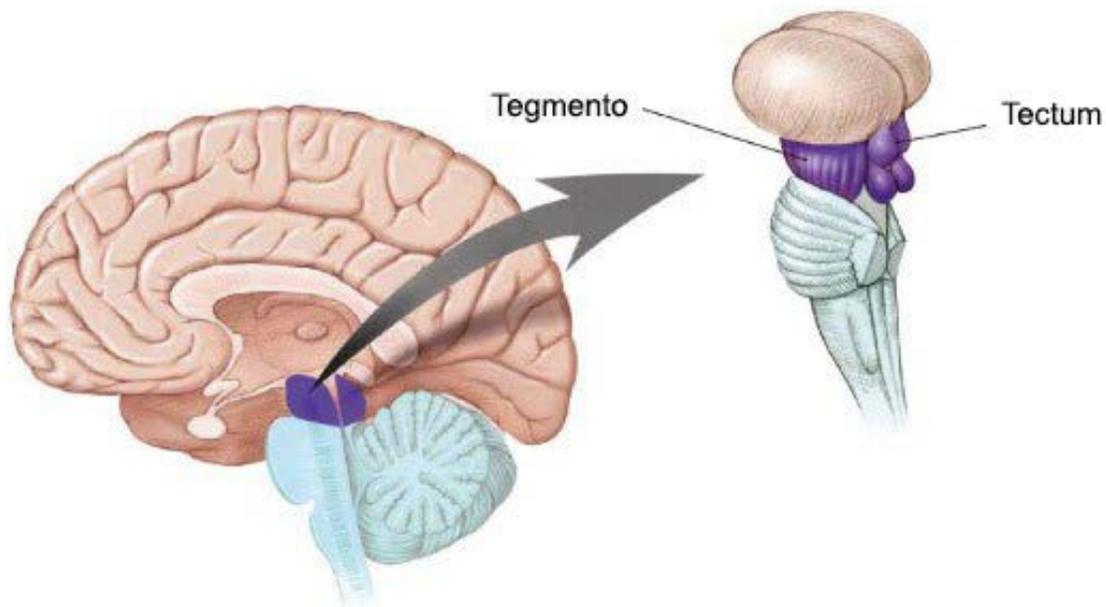


Figura 17. Estructuras que componen el mesencéfalo. La imagen muestra un corte sagital con vista medial y una maximización de las estructuras mesencéfalicas.

Fuente: <https://i1.wp.com/www.psicoadictiva.com/blog/wp-content/uploads/2017/04/tectum-tegmento.jpg?resize=517%2C284&ssl=1>

Techo

Está situado en la porción dorsal, presentando como estructura principal a los tubérculos cuadrigémos superiores e inferiores, estos son cuatro pequeños abultamientos (ver figura 18), dos de ellos se conocen como los **colículos superiores**, los cuales reciben información directa del ojo, generando movimientos oculares. Los otros dos serían los **colículos inferiores** que reciben información sensorial (sistema auditivo), permitiendo el control auditivo y sirviendo de relevo de la información de este sistema que viaja al tálamo.

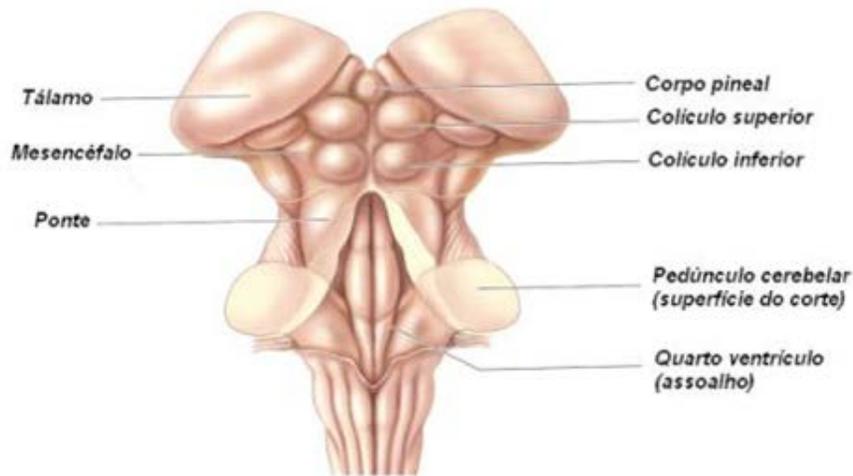


Figura 18. Se muestra los componentes del techo en el área mesencéfalica.
Fuente: <https://apuntesudomedicina.files.wordpress.com/2015/08/vista-dorsal.jpg>

Tegmento

Esta estructura se encuentra ubicada debajo del techo, comprendiendo a varios núcleos que controlan el movimiento ocular como la sustancia gris periacueductual (que controlan secuencias de movimientos constitutivas de conductas típicas de la especie, por ejemplo, lucha y apareamiento). Otro núcleo que podemos encontrar es el núcleo rojo, la sustancia negra (componentes importantes del sistema motor) y tegmento ventral o área tegmental ventral, fundamental en el sistema de recompensa.

Romboencéfalo

Se diferencia con tres estructuras importantes, el cerebelo, puente y bulbo raquídeo. Los dos primeros se derivan de la mitad rostral conocida como **metencéfalo** mientras que de la mitad caudal se encontraría en último en el **mielencéfalo**. El hueco ocupado por el líquido cefalorraquídeo se convierte en el cuarto ventrículo el cual continúa con el acueducto cerebral (se describe en la siguiente cartilla).

Funcionalmente se presenta como un lugar de paso de la información desde el prosencéfalo a la médula espinal y viceversa igual que el mesencéfalo. Además, que las neuronas romboencéfalicas procesan información sensorial, movimiento voluntario y la regulación del sistema nervioso autónomo.

Metencéfalo

Está compuesto por las siguientes estructuras:

Puente se localiza bajo el IV ventrículo, mientras que lateralmente se encuentra con los pedúnculos cerebelosos (sustancia blanca). Una de las funciones que presenta es servir como centro de comunicación entre la corteza y el cerebelo (ver figura 190).

Cerebelo, es un cerebro pequeño, la diferencia con el cerebro es que este recibe información ipsilateral. Se localiza en la parte posterior del encéfalo, en la parte dorsal lo recubre (no totalmente los hemisferios cerebrales). Su apariencia es tipo corrugada por un gran número de pliegues. Una de sus funciones principales está relacionada con el control del movimiento (por eso daños en esta estructura están relacionados con marcha magnética en la enfermedad de Parkinson).

Presenta numerosas entradas de axones del puente y la medula espinal. De esta última se recibe información sobre la posición del cuerpo en el espacio. Mientras que las señales del puente provienen de la corteza cerebral y se relacionan con los movimientos planeados.

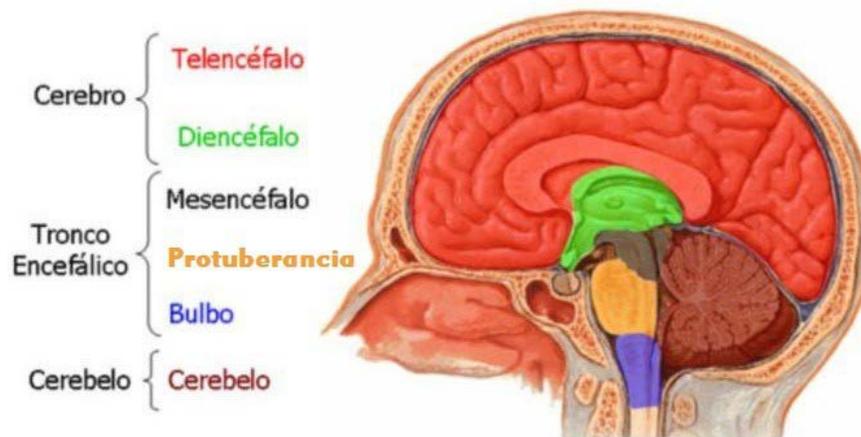


Figura 19. Distribución de las vesículas primarias

Fuente: <https://psicologiymente.net/media/Bjrw/telencefalo-mesencefalo-cerebelo/default.jpg>

Muestra en colores los lugares en los que se encuentran situadas las diferentes subdivisiones de las vesículas primarias, identificando las estructuras metencéfalicas.

Mielencéfalo

Bulbo raquídeo: se presenta con 4 grandes prominencias, las dos primeras se les denominara pirámides (formada por sustancia blanca), mientras que los dos restantes se conocerán como olivas (sustancia gris). Los cuales se relaciona con una función de tipo motor.

Medula espinal: es una estructura cónica y alargada del grosor del dedo meñique unida a la base del cerebro y se encuentra protegida por la columna vertebral, la cual consta de cinco regiones: región cervical (cuello) torácica (toráx), lumbar (parte baja de la espalda) región sacra y coccígea. La columna tiene 33 vertebras (ver figura 20) y su función principal es la de conducir información a partir de la piel, las articulaciones y los músculos del cuerpo al encéfalo, y viceversa.

FIGURE 8.5 The spinal cord. (Left) Location of the spinal cord, as seen in a posterior view. (Right) Lateral view of the spinal cord, showing its position within the bony vertebral column. Also shown are the 31 pairs of spinal nerves, which leave the spinal cord between adjacent vertebrae.

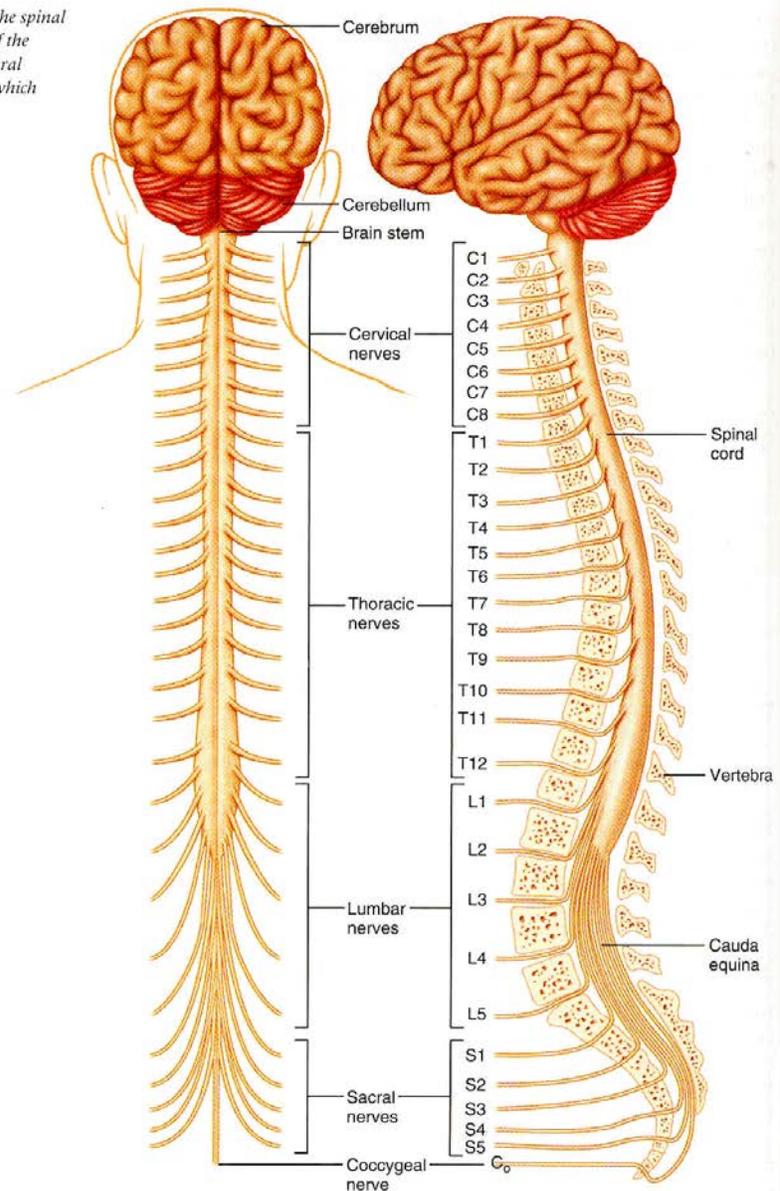


Figura 20. Representación de la composición de la médula espinal, desde sus divisiones región cervical, torax, lumbar y sacra

Fuente: http://163.178.103.176/Fisiologia/neurofisiologia/pract_bas_2/germann232.gif

La médula espinal se comunica con el cuerpo a través de los nervios espinales, que son parte del Sistema Nervioso Periférico del cual hablaremos en otra cartilla. Los nervios espinales salen de la médula espinal a través de los huecos entre cada vértebra de la columna vertebral. Estos nervios espinales se conectan a la médula espinal por medio de dos ramas, la raíz dorsal, la cual contiene los axones que traen la información a la médula espinal desde

afuera (músculos) y la raíz ventral que contiene los axones que llevan información lejos de la médula espinal, es decir desde la médula hacia por ejemplo los músculos (ver figura 21).

Finalmente, cuando una persona presenta un daño a nivel de la medula espinal puede presentar una patología específica según la región lesionada.

De cada lado de la médula surgen pequeños haces de fibras dispuestos en dos líneas rectas a lo largo de su superficie dorsolateral (traen la información) y ventrolateral (llevan la información). Estos haces se fusionan en grupos y se convierten en los 31 pares de raíces dorsales y raíces ventrales. Las raíces dorsales y ventrales se unen cuando atraviesan los agujeros intervertebrales, convirtiéndose en los nervios espinales, los cuales se hablarán en otra cartilla.

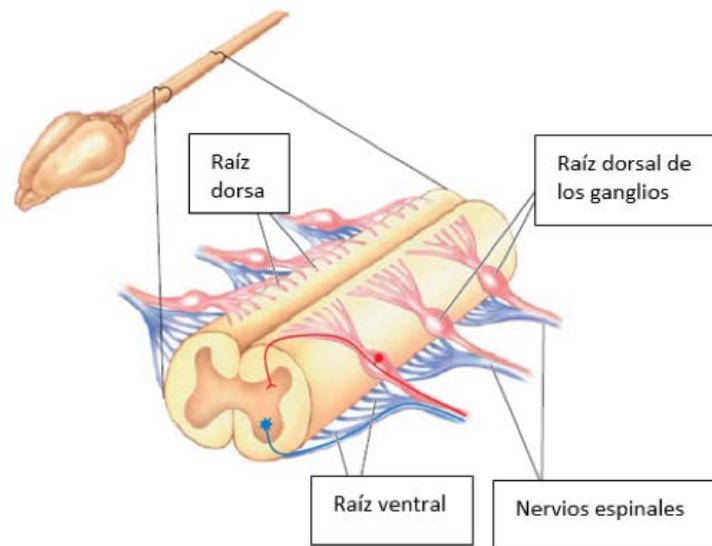


Figura 21. Médula espinal
Fuente: Bear et al. 2008.

La médula espinal discurre por el interior de la columna vertebral. Los axones entran y salen de la médula espinal a través de las raíces dorsal y ventral, respectivamente. Estas raíces se juntan formando los nervios espinales que se extienden por el cuerpo.

Conclusión

Para poder guiarnos en el encéfalo, debemos conocer las referencias neuroanatómicas, que sería lo mismo que entender la lectura de un mapa en un centro comercial o un zoológico. Para esto existen ciertas vistas (la forma de verlo) y cortes (la forma de diseccionar). Las vistas pueden ser de 6: superior o dorsal, inferior o ventral, vista anterior o rostral, vista posterior, vista lateral, y vista medial. Asimismo, los cortes pueden ser de 3 tipos: corte coronal, corte axial y corte tipo sagital.

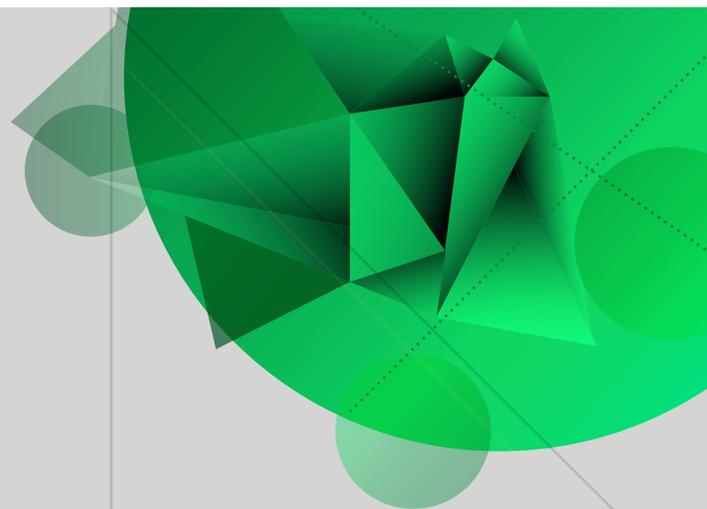
De esta manera, conociendo la forma de guarnos en el encéfalo podemos ver su desarrollo desde las 3 vesículas primarias, comenzando por un cerebro anterior (Prosencéfalo) el cual se divide en telencéfalo y diencefalo. El primero desarrolla los hemisferios cerebrales con sus lóbulos, los núcleos de la base y el sistema límbico, mientras que el segundo presenta una división de las estructuras tálamicas (tálamo e hipotálamo). La siguiente vesícula es el cerebro medio (mesencéfalo), no presenta divisiones, pero si se compone del techo y del tegmento. Por ultimo tenemos el cerebro posterior (Romboencéfalo) que se divide en metencéfalo y mielencéfalo. El primero desarrollando el puente y el cerebelo y el ultimo desarrolla el bulbo raquídeo.

Para terminar la cartilla y los componentes del sistema nervioso central tenemos la medula espinal, la cual se comunica con el cuerpo a través de los nervios espinales.

3

Unidad 3

Meninges



Neuroanatomía Funcional

Introducción

Es importante que conozcamos que el encéfalo presenta sistemas de protección, los cuales ayudan a prevenir que este se lesione en caso de movimientos bruscos. El encéfalo está flotando en líquido cefalorraquídeo lo que permite que se sostenga y no “pese”, además de protegerlo de movimientos fuertes. Pensemos un momento que estamos en un concierto y queremos saltar de la emoción, el líquido permite que el encéfalo flote y no golpee los extremos de la bóveda craneal, de esta manera no se presentarán daños.

Además del líquido cefalorraquídeo que circula por el encéfalo, también se presenta un sistema de riego a cargo del sistema vascular, el cual está compuesto de arterias y venas que transportan sangre a través del cuerpo con la finalidad de suministrar oxígeno y nutrientes a los tejidos del cuerpo y eliminar los desechos. Cuando hay problemas con esta irrigación pueden darse accidentes cerebrovasculares como hemorragias, isquemias o trombosis cerebral.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual dedicara a sus lecturas o investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante tenga una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el trascurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planeé los espacios y horas de estudios que dedicara al módulo, de esta manera evitara distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquellos términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas, si la duda persiste consulte con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.) no es adecuado estar levantándose de sus puestos para ir a buscar algún material, genera pérdida de las ideas que se trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, ir al baño).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Meninges

En su totalidad el Sistema Nervioso está cubierto por un resistente tejido conjuntivo (también llamado tejido conectivo), además de la cavidad craneal la cual se divide en tres regiones conocidas como fosas craneales (anterior, media y posterior). Este tejido conjuntivo son las **meninges**, capas o cubiertas protectoras que rodean, sostienen el encéfalo y se extienden hacia abajo al tronco encefálico y la medula espinal (Purves, Augustine, Fitzpatrick, Hall, Lamantia, Mcnamara, William 2008). Las meninges son tres capas: **duramadre, aracnoides y piamadre**.

Meninges

Este término proviene de la palabra griega (*μῆνις*) que significa *cubrir*, de ahí que todo el sistema nervioso: encéfalo, médula espinal, pares craneales y ganglios periféricos, estén cubiertos por este tejido resistente. Esta protección se da debido a que el sistema nervioso no se encuentra adherido a la bóveda craneal y por ende puede sufrir lesiones.

El pájaro carpintero es un buen ejemplo para entender la función de las meninges, como sabemos esta ave se alimenta de insectos o gusanos que se encuentran bajo la corteza o interior de los árboles y por lo tanto debe "taladrar" o perforar el árbol para encontrarlos. Para esto, el pájaro carpintero tiene el encéfalo pegado al cráneo y por ende puede hacer este tipo de movimientos sin sufrir lesión alguna. Por el contrario, si un ser humano intentara perforar un árbol usando su cabeza como taladro, probablemente sufriría una lesión cerebral debido a que entre el encéfalo y el cráneo hay un espacio y con estos movimientos bruscos el cerebro se golpearía constantemente contra el hueso (cráneo).

El ejemplo anterior permite mostrar la función de las meninges: evitar que el cerebro se golpee contra el cráneo o minimizar el impacto de un golpe. Sin embargo, en casos en los que ocurren impactos muy fuertes (accidentes automovilísticos o un disparo), se pueden presentar rupturas o inflamación de las capas generando traumas craneoencefálicos, hemorragias o fiebres muy elevadas y prolongadas, afectando directamente el encéfalo.

Duramadre

Es la capa más externa de las meninges. Limita en la parte superior con la bóveda craneal y en la parte inferior con la meninge aracnoides, siendo la membrana más gruesa y con una mayor resistencia, es decir que no puede estirarse (ver figura 1). En algunas partes forma unos canales conocidos como senos venosos duros, donde pasan algunas venas del sistema nervioso y el líquido cefalorraquídeo. En circunstancias normales, no existe espacio alguno en toda la duramadre, porque está fijada al cráneo y a la aracnoides. Sin embargo, hay dos espacios potenciales que se pueden abrir en condiciones patológicas (principalmente hemorragias), el primero el espacio epidural entre el cráneo y la duramadre y el segundo el espacio subdural ubicado entre la duramadre y la aracnoides (Redolar, 2014).

SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

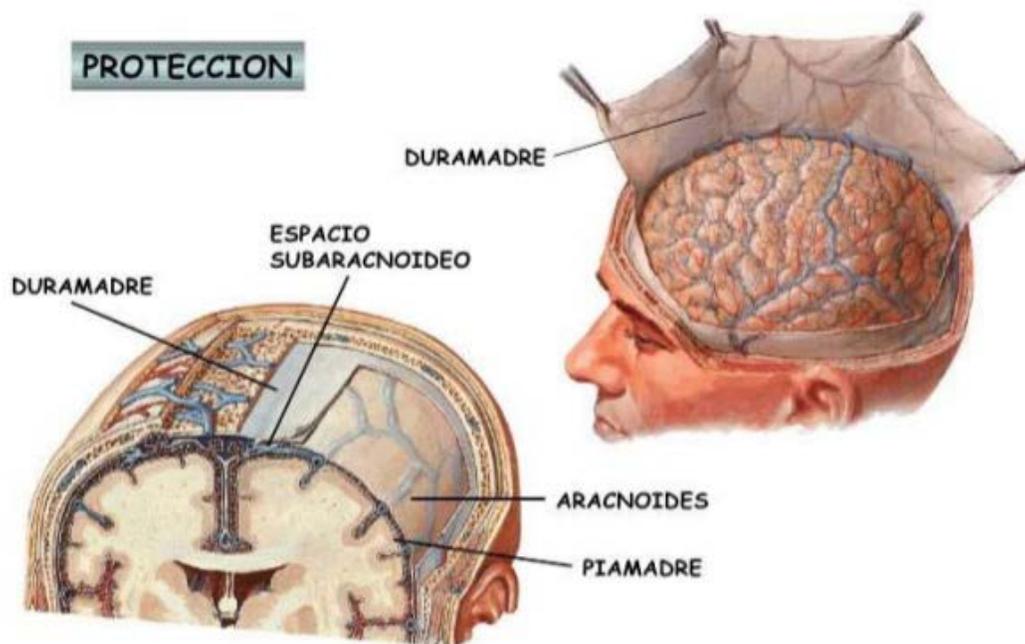


Figura 1. Meninges

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/meninges-160819232809/95/meninges-ventriculos-y-lcr-11-638.jpg?cb=1471649306>

En la imagen se puede evidenciar la localización de las meninges, en la imagen de la derecha se muestra una vista dorsal en la cual se nota la aracnoides.

Aracnoides

Es la capa media, de apariencia blanda y esponjosa. Limita en la parte superior con la duramadre y en la parte inferior con el **espacio subaracnoideo**, un espacio hueco por el cual fluye el líquido cefalorraquídeo (se explica más adelante). Este líquido es fabricado por los plexos coroideos de los ventrículos (laterales, tercero y cuarto) y circula por todo el encéfalo y la médula espinal.

Piamadre

Es una capa estrechamente unida al encéfalo y a la médula espinal (ver figura 2), la cual recubre todas las circunvoluciones. Es una membrana delgada que debido a que se encuentra adherida a la corteza recubre todo el encéfalo, tanto las circunvoluciones como la profundidad de los surcos y la médula espinal. Los vasos sanguíneos más pequeños de la superficie están en esta capa (ver figura 2).

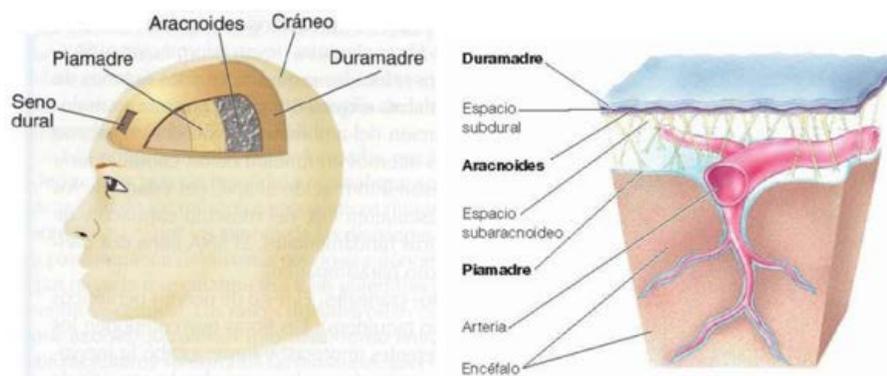


Figura 2. Meninges.
Fuente: Redolar. 2014.

La imagen muestra la distribución de las tres meninges en su respectivo orden, en la parte A) como se ven recubiertas por la bóveda craneal B) solo las tres meninges con las estructuras que presentan debajo.

Recordemos que entre la piamadre y la aracnoides se encuentra el espacio subaracnoideo, en el cual circula el líquido cefalorraquídeo, que recorre el encéfalo por medio del sistema ventricular.

Líquido cefalorraquídeo

Es un líquido incoloro que se encuentra en los ventrículos cerebrales, el espacio subaracnoideo y el canal ependimario. El volumen total de líquido cefalorraquídeo en el espacio subaracnoideo y dentro de los ventrículos es de aproximadamente 130 mL (Snell, 2007).

Dentro de sus funciones están, actuar como un sistema de amortiguación entre el sistema nervioso y el sistema óseo para brindar protección ante traumatismo y eliminar metabolitos del SNC. Cuando el volumen encefálico o sanguíneo aumenta, el volumen de líquido disminuye como un sistema de compensación. Como ya se mencionó este líquido es producido en uno de los *plexos coroideos* de los cuatro ventrículos cerebrales (ver figura 3).

Y ¿qué puede pasar si hay un exceso de el LCR? La persona puede desarrollar una **hidrocefalia**, enfermedad generada por el exceso de LCR que tiene como consecuencia una dilatación anormal de los ventrículos, lo que ocasionaría una presión sobre cerebro realmente peligrosa, pudiendo ser mortal o causar cambios en la personalidad, la memoria o en la capacidad para razonar o pensar.

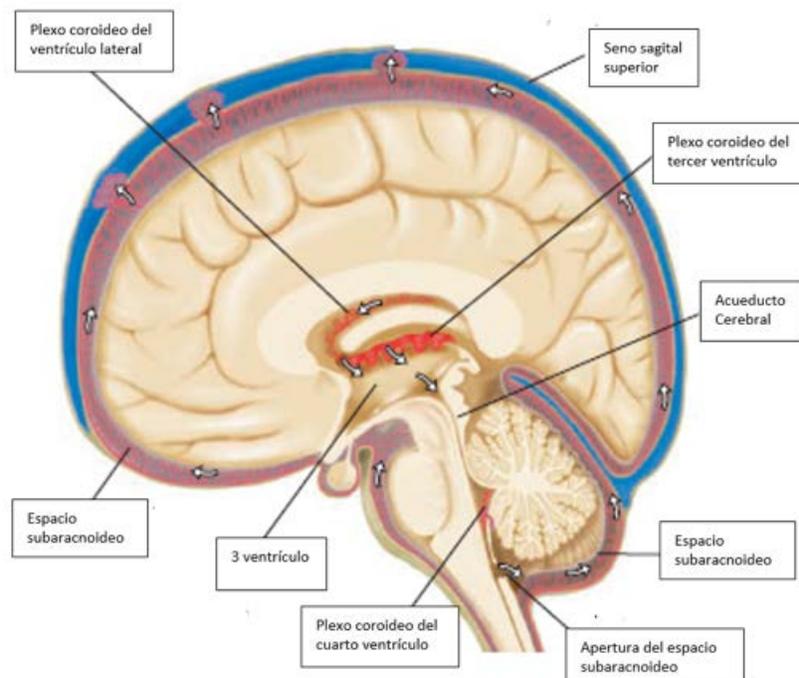


Figura 3. Líquido cefalorraquídeo
Fuente: Redolar. 2014.

La imagen muestra la distribución del líquido cefalorraquídeo por medio de los ventrículos, generando el recorrido por medio del cerebro.

Sistema ventricular

Los ventrículos son las cavidades huecas dentro del encéfalo, que se pueden observar mediante una vista medial. Podemos encontrar los ventrículos laterales, el tercer ventrículo y el cuarto ventrículo que se comunica con el tercero por el acueducto cerebral (Bear, Connors,

Paradiso, 2008). La función principal de estas cavidades es permitir la circulación del líquido cefalorraquídeo.

Ventrículos laterales

Existen dos ventrículos laterales grandes, uno en cada hemisferio cerebral, y como todos los ventrículos, están llenos de líquido cefalorraquídeo. Estos ventrículos hacen parte del telencéfalo y cada uno tiene tres cuernos o astas, una asta anterior que se dirige o extiende al lóbulo frontal y una asta posterior que se dirige a lóbulo occipital y una asta inferior que se dirige hacia el lóbulo temporal.

Los ventrículos laterales se comunican con el tercer ventrículo gracias al foramen **interven-tricular** o de Monro, el cual es un orificio que permite la circulación del líquido cefalorraquídeo entre ambos ventrículos (ver figura 4).

Tercer ventrículo

Se comunica por la parte anterior con los ventrículos laterales a través de los forámenes interventriculares (foramen de Monro) y por la parte posterior con el cuarto ventrículo gracias al **acueducto de Silvio**, ocupando la mayor parte del diencefalo (ver figura 4).

Cuarto ventrículo

Se encuentra entre el cerebelo, la protuberancia y el bulbo. Como ya se nombró, todos los ventrículos deben estar conectados entre sí, pero además deben permitir el paso del LCR al espacio subaracnoideo para que éste irrigue todo el SNC, esto lo puede realizar por medio de espacios o agujeros. Del cuarto ventrículo sale el LCR al espacio subaracnoideo a través de los **agujeros de Luschka** y el **agujero de Magendie** (ver figura 4). Finalmente, gracias al **canal ependimario**, una cavidad que nace al final del cuarto ventrículo y recorre internamente la médula espinal hasta el cono medular donde termina, el LCR se extiende hasta la médula, logrando la comunicación de los ventrículos con el espacio subaracnoideo (Redolar, 2014) (figura 4).

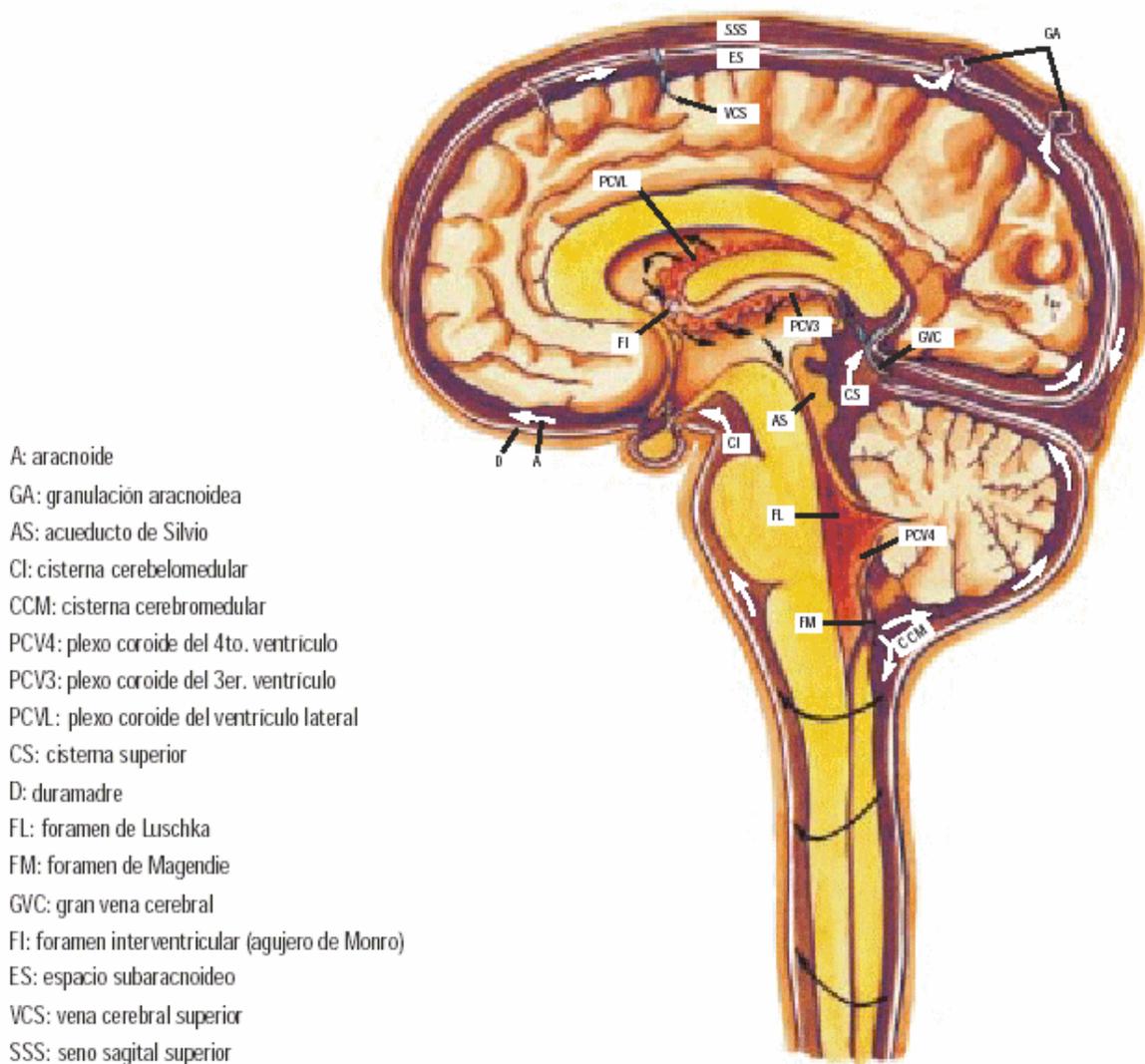


Figura 4. Meninges

Fuente: <http://gsdl.bvs.sld.cu/greenstone/collect/clnicos/index/assoc/HASH8205.dir/fig01a53.png>

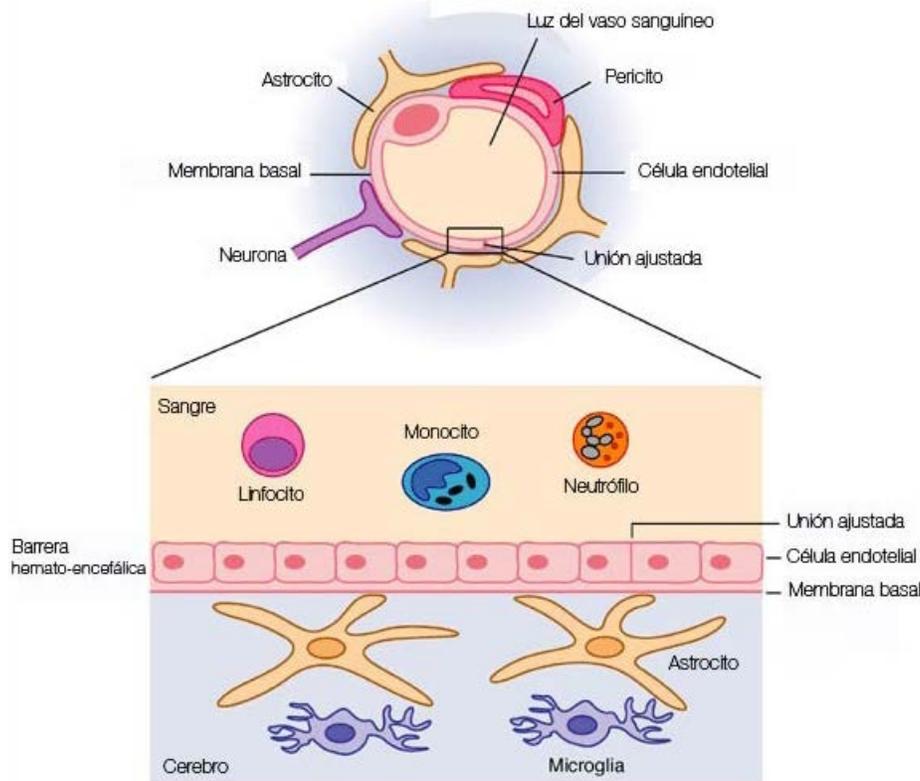
La imagen muestra las meninges, los ventrículos (tercero, cuarto y laterales) además de la irrigación de líquido cefalorraquídeo por medio de los agujeros para terminar en el espacio subaracnoideo.

Barreras hematoencefálicas y hematoraquideas

Su principal función es proteger el encéfalo de sustancias que están en la sangre, evitar que algunos fármacos o sustancias nocivas ingresen directamente y mantener en el interior los recursos necesarios para el adecuado funcionamiento del sistema nervioso. La transmisión

de muchos mensajes de un lugar a otro depende del equilibrio entre las sustancias internas de la neurona y aquellas que se encuentran en el líquido extracelular que las rodea, si en algún momento se altera ese equilibrio se afectará la comunicación de las neuronas, lo que con llevará a un mal funcionamiento encefálico. Muchos de los alimentos que consumimos tienen sustancias químicas como pesticidas que pueden alterar la transmisión de la información, por ello es tan importante la existencia de estas barreras (ver figura 5).

La barrera no se presenta de forma uniforme por el sistema nervioso. En varios lugares, es relativamente permeable, permitiendo que las sustancias excluidas en otras zonas la atraviesen libremente. Por ejemplo, el área postrema es una estructura medular localizada en el tallo cerebral que controla el vómito, un veneno que llegue al sistema circulatorio procedente del estómago puede estimular dicha área para generar el vómito y expulsarlo antes que cause demasiado daño.



La Barrera Hemato-Encefálica

Figura 5. Barrera hematoencefalica.

Disponible en <http://www.guiasdeneuro.com/wp-content/uploads/2009/03/barrera.jpg>

La imagen muestra la barrera separando el medio externo del interno. En la parte externa se encuentran linfocitos, monocito y neutrófilo distribuidos en la sangre. La separación se realiza con células endoteliales y la membrana basal.

Vascularización

Como nuestro encéfalo trabaja con la ayuda del oxígeno y este ingresa por medio de la sangre debemos tener un sistema que lo riegue, como si fuera un jardín muy grande que debe obtener su líquido. En el caso del encéfalo que es una estructura tan compleja y con varias subestructuras no se puede dejar ningún lugar sin irrigación, en ese caso entran a escena las dos arterias carótidas internas y las dos arterias vertebrales importantes para ese trabajo. Las cuatro arterias se encuentran en el espacio subaracnoideo y forman el círculo arterial cerebral (polígono de Willis) (ver figura 6) (Snell, 2007).

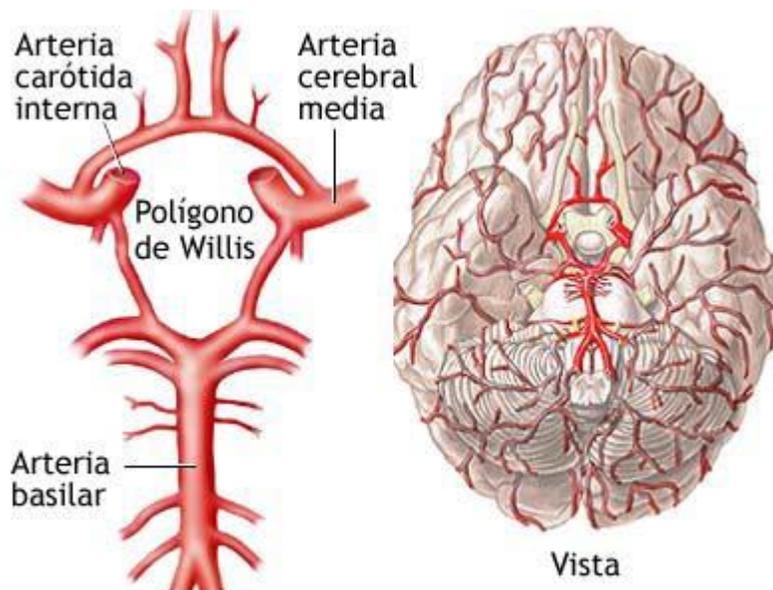


Figura 6. Polígono de Willis

Fuente: <http://4.bp.blogspot.com/-MD82SUcihAQ/TqGi7STPSki/AAAAAAAAAEo/SdtgxcdGC8/s1600/18009.jpg>

La imagen detalla el polígono de Willis, en la parte derecha muestra una vista basal del encéfalo y la ubicación del polígono en el mismo.

Círculo arterial cerebral (polígono de willis)

El círculo arterial de la base del cerebro es una estructura anatómica arterial con forma de pentágono situada en la base del cerebro. Se origina de la unión de las Arterias carótidas y vertebrales (ver figura 7) y la componen:

- Arteria comunicante anterior.
- Arteria cerebral anterior.
- Arteria carótida interna.
- Arteria comunicante posterior.
- Arteria cerebral posterior.
- Arteria basilar.

Estas distribuyen la irrigación cerebral a cualquier parte de los dos hemisferios.

Irrigación de las arterias que nacen del polígono de Willis

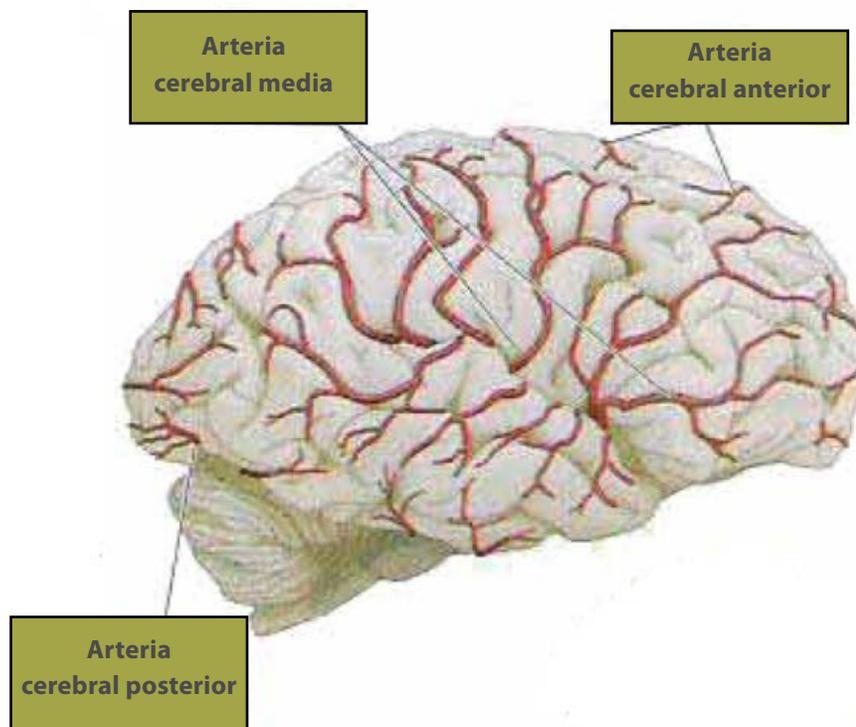


Figura 7. Irrigación de la Arteria cerebral Anterior, Arteria Cerebral media y Arteria Cerebral Posterior
Fuente: Purves et al. 2008.

Arteria carótida interna

La vamos a encontrar como una separación de la carótida común localizada en una dilatación llamada **seno carotideo**. Esta arteria sube por el cuello entrando por la base del cráneo, viajando hacia la parte delantera saliendo por la cara medial de la apófisis clinoides. Gracias a que perforó la duramadre y logró ingresar a la corteza, pasa al espacio subaracnoideo per-

forando la aracnoides para poder dividirse en dos fragmentos; la arteria cerebral anterior y la arteria cerebral media.

Esta arteria se ramifica en: arteria carotido-timpánica, arteria oftálmica, arteria comunicante posterior, arteria coroidea anterior, arteria cerebral anterior y arterias cerebrales medias (ver figura 8).

A continuación describiremos cada una de estas arterias, teniendo en cuenta que aunque estas son las arterias principales que la componen, cada una de ellas presenta más ramas que se extienden y terminan de irrigar una gran parte del encéfalo.

Arteria oftálmica: su origen se limita a la arteria carótida interna, saliendo del seno cavernoso. Irriga el ojo, las ramas frontales del cuero cabelludo, los senos esmoidal y frontal y la parte dorsal de la nariz. Esta arteria genera una irrigación del lóbulo frontal lo cual permite su óptimo funcionamiento.

Arteria comunicante posterior se origina en la Arteria Carótida Interna dirigiéndose hacia atrás por encima del nervio oculomotor (uno de los nervios que controla el movimiento ocular). Luego se une con la Arteria Cerebral Posterior llegando a formar el polígono de Willis (ver figura 7).

Arteria coroidea es la más pequeña que las anteriores vistas. Se origina en la Arteria Carótida Interna cerca a la separación terminal que presenta. Se separa en la parte del tracto óptico, ingresa al ventrículo lateral y terminal en el plexo coroideo.

Arteria cerebral anterior es la rama terminal de la Arteria Cerebral Interna, pasando por encima del nervio óptico y entra por la fisura longitudinal, se une con su homóloga (par opuesto), con la ayuda de la arteria comunicante anterior. Pasa por el cuerpo calloso y finalmente se une con la Arteria Cerebral Posterior.

Arteria cerebral media es la más grande de las ramas que presenta la Arteria Carótida Interna y genera separación en el surco central lateral.

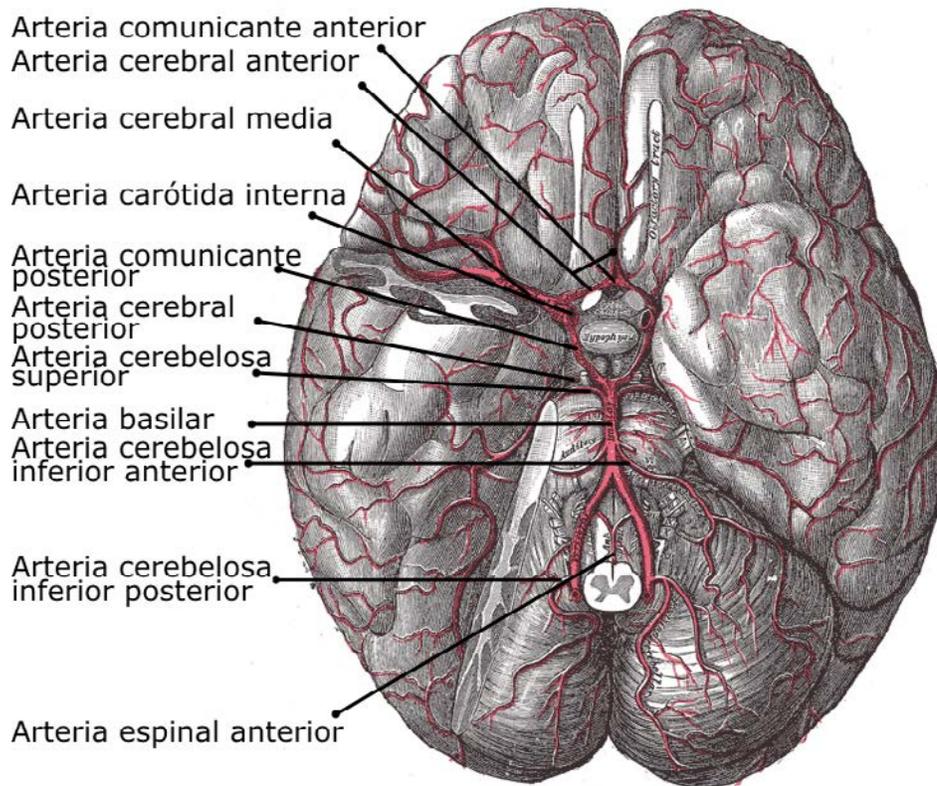


Figura 8. Vista basal del encéfalo con las ramas y arterias que hacen parte de la arteria carótida interna

Fuente: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/24/Henry_Gray_Figura_516.svg

Arteria cerebral

Es la rama de la primera parte de la Arteria Subclavia, ascendiendo por el cuello penetrando los forámenes de la hipófisis y entra a través del foramen magno y perfora la duramadre y la aracnoides para lograr ingresar al espacio subaracnoideo. Se separa para pasar por encima del bulbo raquídeo, el extremo inferior de la protuberancia y posteriormente se une a un vaso para formar la Arteria Basilar.

Las ramas que se generan por la Arteria Cerebral Vertebral, están irrigando las partes faltantes del encéfalo.

Ramas meningeas pequeñas que irrigan el hueso y la duramadre.

Arteria espinal posterior Puede originarse en la Arteria vertebral o en la Arteria cerebelosa posteroinferior, logrando descender por la parte posterior de la medula.

Arteria espinal anterior se forma por una porción de cada Arteria vertebral cerca del final del recorrido.

Arteria cerebelosa posteroinferior es la rama más grande de la Arteria cerebral vertebral y su forma de recorrido se dirige entre el bulbo y el cerebelo. Irriga la superficie inferior del Hemisferio cerebeloso, además del bulbo raquídeo y el plexo coroideo del cuarto ventrículo.

Arteria bulbares ramas pequeñas que se distribuyen para irrigar el bulbo raquídeo.

Arteria basilar se forma gracias a la unión de las dos arterias vertebrales, asciende llegando a la superficie anterior de la protuberancia por el borde superior y se divide en la Arteria Cerebral Posterior.

Las ramas que forma:

Arteria pontinas están situados en la protuberancia y se caracterizan por ser unos vasos pequeños que lo irrigan.

Arteria laberíntica su principal característica es que es delgada y su extensión es prolongada y acompaña al nervio facial (par craneal VII) y el nervio vestibulococlear (Par Craneal VIII) irrigando el oído interno.

Arteria cerebelosa anteroinferior se divide posterior y lateralmente irrigando partes anteriores e inferiores del cerebelo. Algunas ramificaciones se dividen y dirigen hacia la protuberancia y el bulbo raquídeo.

Arteria cerebelosa superior: se da inicio al final de la Arteria Basilar, pasando por el lado del pedúnculo cerebeloso y logra irrigar la protuberancia además de la glándula pineal.

Arteria cerebral posterior: se curva en el lado lateral, viajando hacia atrás rodeando el mesencéfalo.

De esta manera, nos podemos dar cuenta que las arterias cumplen el papel de irrigación, y por lo tanto si alguna se lesiona podrá ocasionar daños irreversibles en el encéfalo por la falta de oxígeno. Por ejemplo, un accidente cerebrovascular (ictus) en la arteria cerebral media puede generar una alteración en el lenguaje tanto al producirlo (hablar o decir algo) como al comprenderlo (no entiende las cosas que le dicen). Por otro lado, un ictus en la arteria posterior puede producir una alteración en la capacidad visual para percibir. Finalmente, un ictus en la arteria anterior podría generar cambios en la personalidad (volverse irritables, groseros, pasivos).

Conclusión

A lo largo de la cartilla vimos que el encéfalo tiene diferentes formas de protección y también de irrigación que le permite rechazar las sustancias nocivas y recibir las necesarias. Asimismo, cualquier alteración en las meninges, barreras o arterias puede generar cambios en el comportamiento o incluso la muerte de quien las padece. Las capas meníngeas se presentan debido a que el cerebro no se encuentra adherido a la bóveda craneal y un movimiento brusco podría generarle daños severos o problemáticas a largo plazo. En medio de las capas aracnoides y piamadre se encuentra el espacio subaracnoideo, el cual se compone de líquido cefalorraquídeo y funciona como un sistema de amortiguación entre el sistema nervioso y el sistema óseo. Por último vimos la irrigación sanguínea del encéfalo que permite la nutrición y oxigenación de tejido nervioso.

4

Unidad 4

Sistema Nervioso
Periférico



Desarrollo humano y nuevas
ciudadanías

Autor: Edwin Camilo Saavedra Espitia

Introducción

Sabemos que el sistema nervioso se encuentra dividido en el sistema central (encéfalo y médula) del cual hablamos en la semana anterior y el sistema nervioso periférico, del cual hablaremos a partir de esta semana.

El **Sistema Nervioso Periférico** se divide en el sistema nerviosos somático y el **sistema nervioso autónomo** (ver figura 1). El sistema nervioso somático hace referencia a todos los nervios espinales (los cuales salen de la médula espinal) que inervan la piel, las articulaciones y los músculos ubicados bajo el control voluntario y los nervios craneales. Por el contrario, en el **sistema nervioso autónomo** se encuentran las neuronas que inervan los órganos internos, vasos sanguíneos y las glándulas que están bajo control involuntario.

En esta semana hablaremos del sistema nervioso autónomo y para comprenderlo de mejor manera comenzaremos con un ejemplo. Imagine una situación de peligro por la que haya pasado, como un robo o una catástrofe natural, ¿recuerda cómo actuó o cómo estaba su cuerpo en ese momento? La respuesta sería simple, durante el robo o catástrofe probablemente sus pupilas se dilataron, el corazón comenzó a latir más rápido, sudó, y si tuvo la oportunidad salió corriendo. ¿cómo lo hizo? Gracias a la activación del sistema nervioso autónomo, específicamente el sistema simpático, este sistema se activa para generar un estado de alerta y permitirnos actuar de manera adecuada ante un peligro para salvar nuestra vida. Sin embargo, cuando ya ha pasado el evento necesitamos recuperar nuestro estado de calma y para esto se necesita también la activación del sistema autónomo, pero en este caso del sistema parasimpático.

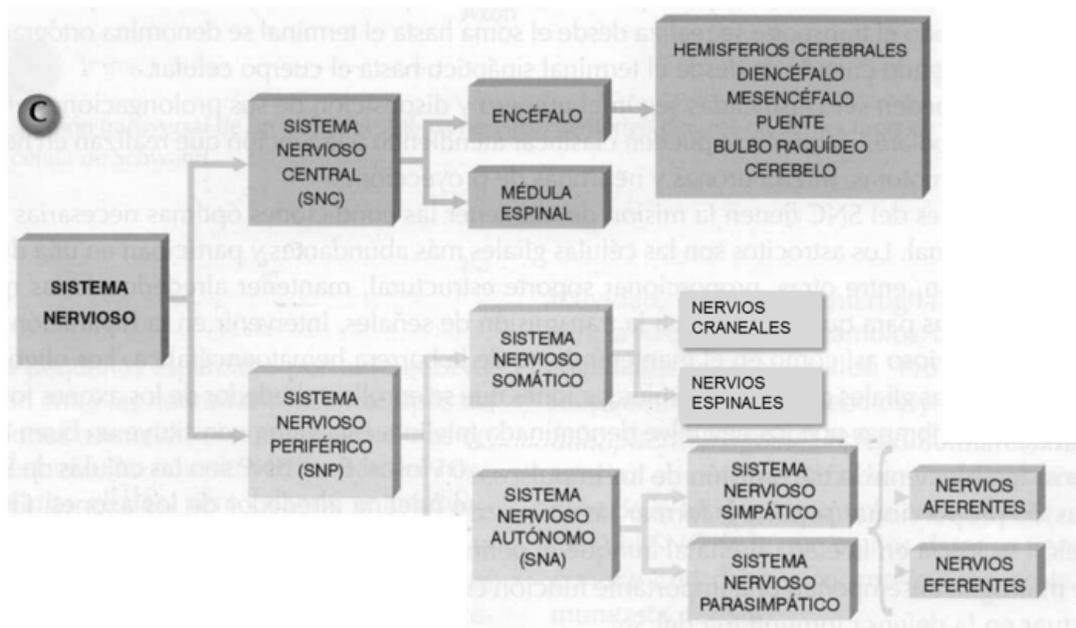


Figura 1. Sistema nervioso
Fuente: Abril et al. 2009.

Subdivisión del sistema nervioso, comenzando con el sistema nervioso central por un lado y por el otro, el sistema nervioso periférico.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual se dedicará a sus lecturas o investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante presente una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planeé los espacios y horas de estudio que dedicará al módulo, de esta manera evitará distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de una forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquellos términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas; si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.). No es adecuado levantarse frecuentemente de sus puestos para ir a buscar algún material, ya que genera una pérdida de las ideas que se trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, ir al baño).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Sistema Nervioso Periférico

En los primeros apartados de la asignatura se describieron las estructuras que integran el sistema nervioso central. En esta semana, el contenido se centrará en los componentes del sistema nervioso periférico que se dividen en dos sistemas: el sistema nervioso somático y el sistema nervioso autónomo (Ver tabla 1).

El sistema nervioso somático recibe información sensitiva de los órganos sensitivos y controla los movimientos de los músculos esqueléticos. Por otra parte, el sistema nervioso autónomo (SNA) regula el músculo liso, el cardíaco y las glándulas, teniendo como función principal regular los procesos vegetativos del organismo.

| Sistema nervioso somático | Sistema nervioso autónomo (SNA) |
|--|---|
| Nervios espinales | Rama simpática |
| Aferentes desde los órganos sensitivos | Nervios espinales (de las regiones torácica y lumbar) |
| Eferentes a los músculos | Ganglios simpáticos |
| Pares craneales | Rama parasimpática |
| Aferentes desde los órganos sensitivos | Pares craneales (III, VII, IX y X) |
| Eferentes a los músculos | Nervios espinales (de la región sacra) |
| | Ganglios parasimpáticos (adyacentes a órganos diana) |

Tabla 1. Divisiones principales del sistema nervioso periférico
Fuente: Carlson. 2014.

Distribución de las divisiones del sistema nervioso periférico. En la parte izquierda se encuentra las divisiones del sistema nervioso somático, mientras que en la parte derecha el sistema nervioso autónomo con las ramas simpáticas y parasimpáticas.

Sistema Nervioso Autónomo

El Sistema Nervioso Autónomo (SNA) también conocido como sistema nervioso neurovegetativo está encargado de la regulación de los órganos internos, las glándulas y los vasos sanguíneos. Dicha regulación ocurre automáticamente, es decir que no se encuentra bajo control voluntario o consciente. El SNA está compuesto por dos sistemas anatómicamente diferentes y funciones opuestas: la división *simpática* y la división *parasimpática*. Todos los órganos del cuerpo están inervados por ambas subdivisiones pero el efecto que ejercen en cada uno son completamente opuestos.

Este sistema está conformado por neuronas que inervan los órganos internos, los vasos sanguíneos y las glándulas. Los axones de las neuronas sensitivas llevan la información de la función visceral, la presión y contenido de la sangre en las arterias al SNC. Y para responder a esto los axones de las neuronas motoras se conectan con los músculos que forman las paredes del intestino y de los vasos sanguíneos para controlar la contracción o relajación de estos, así como del músculo cardíaco y la función secretora de algunas glándulas.

Ahora, ¿qué tiene que ver este sistema y sus subdivisiones con el comportamiento humano? Ante diferentes situaciones debemos actuar de manera adecuada, por ejemplo, en una situación estresante como un parcial o una entrevista nuestro cuerpo debe estar en alerta y regulado para atender a todos los estímulos y a su vez responder adecuadamente, pero en situaciones neutras nuestro cuerpo debe estar relajado y no gastar energía que podrá ser utilizada antes otros eventos.

Sistema Nervioso Simpático (SNS)

Este sistema se activa para preparar el cuerpo para condiciones estresantes o de emergencia, como escapar de un peligro, es decir que participa en actividades asociadas al gasto de energía. Para esto inerva diferentes órganos, que responden cuando una persona está nerviosa o estresada, así, aumenta el flujo sanguíneo de los músculos esqueléticos, aumenta la frecuencia cardíaca y la concentración de glucosa, llevando a la estimulación de la segregación de hormonas como la adrenalina, genera la erección de las vellosidades o piel de gallina (fenómeno conocido como piloerección). Asimismo, dilata la pupila, inhibe la salivación y la secreción lagrimal, relaja los bronquios, inhibe la digestión, aumenta la liberación de glucosa hepática, relaja la vejiga y contrae el recto.

SISTEMA NERVIOSO SIMPÁTICO

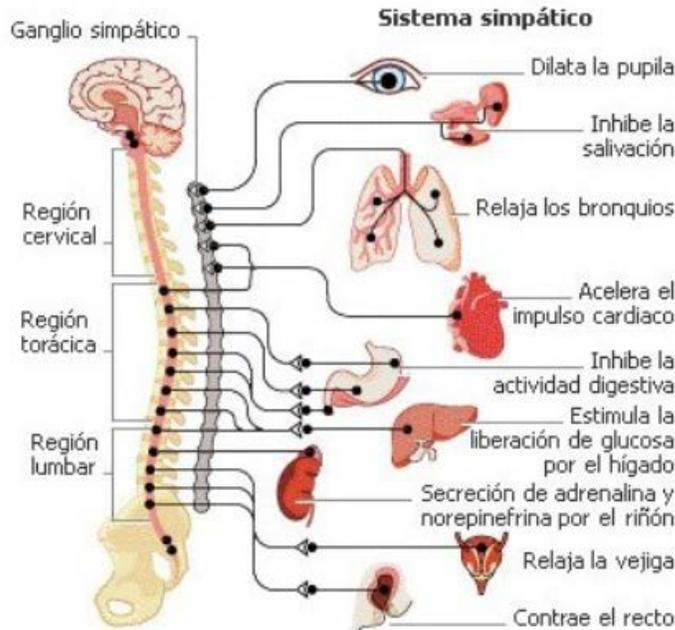


Figura 2. Sistema simpático

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/sistemanerviosoautonomodra-bustos-121101212257-phapp01/95/fisiologa-sistema-nervioso-autonomo-16-638.jpg?cb=1351805245>

La imagen permite ver los órganos que controla el sistema simpático y muestra los ganglios de los cuales emergen los axones para hacer sinapsis con los diferentes órganos. Imagen obtenida de internet.

Los cuerpos celulares de las neuronas motoras que componen este sistema están situados en la médula espinal, específicamente en la sustancia gris de las regiones torácica y lumbar (ver figura 2). De esta manera, los axones de estas neuronas salen del tercio medio de la médula por las raíces ventrales, uniéndose a los nervios espinales (los cuales se describen en la siguiente semana) y posteriormente ramificándose hasta llegar a los ganglios simpáticos. Estas neuronas preganglionares se conectarán o harán sinapsis con otras neuronas (posganglionares) que finalmente enviarán sus axones a los órganos mencionados anteriormente como corazón, estómago, intestinos, pulmones, entre otros, para controlar su funcionamiento (ver figura 3).

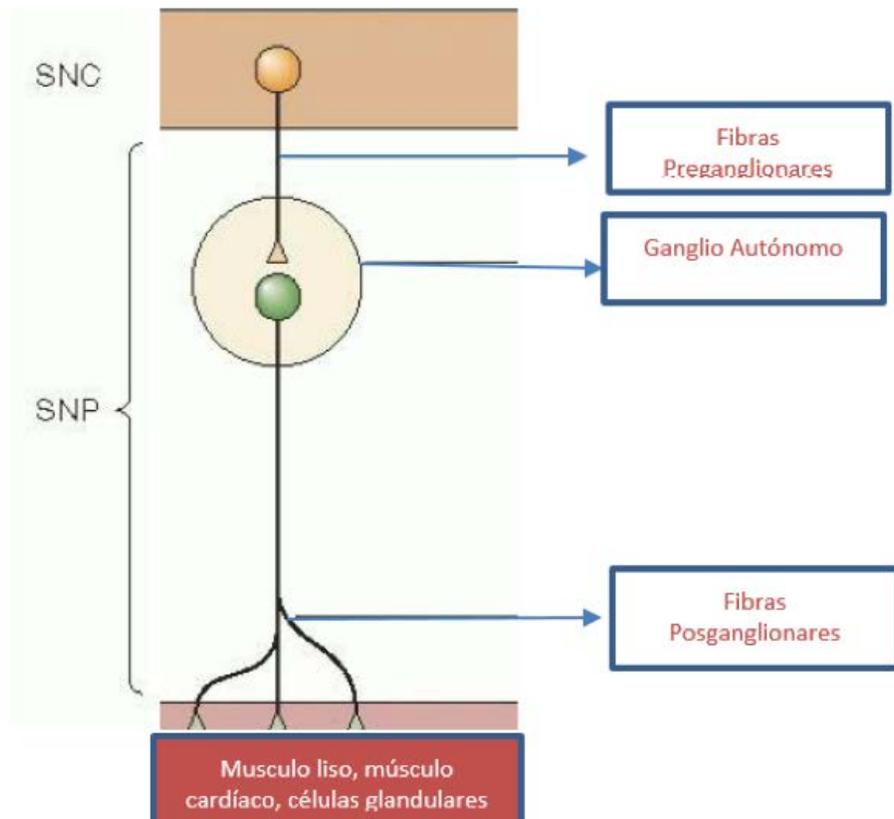


Figura 2. Vía de las células del Sistema Nervioso Simpático
Fuente: Bear, Connors, Paradiso. 2008.

En la imagen se muestra una célula preganglionar del SNC, específicamente de la médula espinal, enviando sus axones a una neurona posganglionar que a su vez conectará con los órganos diana o meta, en este caso el músculo liso, cardíaco, entre otros.

De esta manera, el sistema simpático inerva tres tipos de tejidos: 1) glándulas, ya sean salivales, sudoríparas, suprarrenales (secreción de adrenalina y noradrenalina), lagrimales entre otras; 2) el músculo liso localizado en los aparatos reproductor y excretor (útero, uréter, aparato gastrointestinal, etc.), en los vasos sanguíneos, y órganos internos (iris, membrana nictitante del ojo, tráquea, pulmones, bronquios, etc.) y 3) el músculo cardíaco, logrando satisfacer las demandas del cuerpo como la llegada de oxígeno al tejido nervioso, regulando funciones digestivas y metabólicas del hígado, el tubo digestivo, el páncreas, los riñones, la vejiga urinaria, el intestino grueso y delgado, entre otros.

Sistema Nervioso Parasimpático

La división parasimpática, por el contrario, se activa en situaciones vegetativas no estresantes como cuando estamos almorzando y por lo tanto se encarga de incrementar la energía del cuerpo que será utilizada con la activación del sistema simpático. De esta manera este sistema es responsable de la estimulación de las funciones reparadoras del organismo.

Asimismo, otra diferencia con el sistema simpático es que los axones del sistema parasimpático emergen del tronco del encéfalo y los segmentos más bajos (sacros) de la médula espinal (ver figura 3). Los cuerpos neuronales de estos axones se encuentran en algunos nervios craneales y ganglios de la región final de la médula o región sacra.

Así, este sistema inervará los mismos tejidos pero ejercerá una función opuesta, es decir que generará la contracción de la pupila, disminuirá la frecuencia cardíaca y la actividad del aparato digestivo, estimulará la digestión y la producción de insulina y enzimas digestivas, dilatará el vaso intestinal, contraerá la vesícula urinaria, estimulará la excitación sexual, inhibirá las glándulas salivales, entre otras.

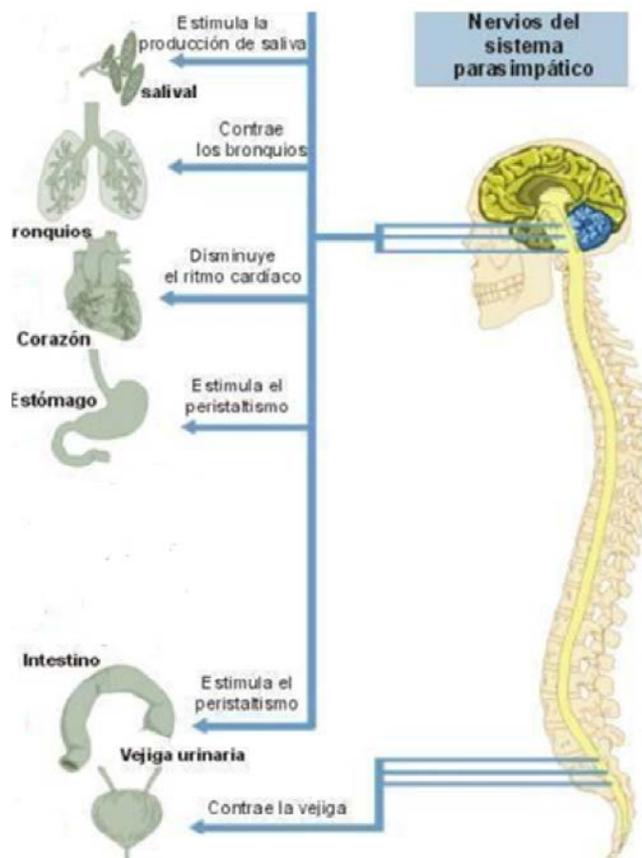


Figura 4. Sistema Nervioso Parasimpático, de donde emergen sus axones y la inervación de los órganos
Fuente: <https://demedicina.com/wp-content/uploads/sistema-nervioso-simpatico.jpg>

Otras funciones del sistema nervioso autónomo

La función principal del SNA es regular las respuestas medioambientales en dos momentos, la situación de alerta real o supuesta (simpático), y generar un equilibrio, volviendo a los valores normales en los sistemas inervados (parasimpático).

Dicho sistema tiene una **función de termorregulación**, que consta de 3 elementos básicos, sistema detector, centro integrador y sistema efector (se debe aclarar que este sistema que se encarga de la temperatura, no es igual en todas las partes del cuerpo y depende de las situaciones emocionales, el sueño o la alimentación). El primer paso en el sistema termoreceptor es la detección de los estímulos, los cuales se generan por un componente somatosensorial que ingresan por la región dorsal de la médula espinal, donde se logra conectar con la zona marginal y asciende por el tracto espinotalámico hasta la estructura del tálamo. El sistema comienza a responder en el momento en que las terminaciones cutáneas aumentan la temperatura generando el reflejo de sudoración. En el caso contrario, cuando se presenta una situación de frío, se genera una vasoconstricción evitando la salida innecesaria de calor. El siguiente paso es responder ante el estímulo, para esto las vías eferentes parten del área preóptica generando un cambio sináptico en el hipotálamo y luego en el bulbo raquídeo, logrando llevar la información a la médula espinal donde se conectará con los órganos efectores.

Por otro lado, el SNA presenta una **Integración funcional del tracto urinogenital** que contiene fibras nerviosas, las cuales llevan la información sináptica al sistema urinogenital inferior y activan la micción (orinar). Estas fibras provienen del nervio pélvico en la región sacra de la medula espinal (la cual estimula la contracción y relajación de la vejiga), cuya función es enviar señales para controlar la orina expulsándola o no. Dichas señales dependen de la activación de los mecanorreceptores, receptores sensoriales que reaccionan ante la presión mecánica o las distorsiones y se encuentran en las paredes de la piel. Estos receptores al ser activados producen que las fibras parasimpáticas se estimulen y a la vez se inhiben las vías simpáticas, logrando la expulsión de la orina. Todo este recorrido y función se logra generar gracias a la acción conjunta entre los nervios periféricos parasimpáticos de la región sacra y los nervios simpáticos toracolumbares.

Por último, tiene un **control autónomo del sistema cardiovascular**, generando un ajuste de la función cardíaca y de los vasos sanguíneos en condiciones distintas, como por ejemplo durante el sueño o el ejercicio. Se presentan respuestas independientes a estímulos hormonales o neuronales, como situaciones de alerta o situaciones que requieran una respuesta cognitiva (exámenes o entrevistas). Las células preganglionas que generan un control del sistema cardiovascular se localizan principalmente en 3 ganglios: cervical superior, siendo el más largo de los tres, localizado en las vértebras C2 y C3, y el cual controla funciones de contracción o dilatación de la pupila. El segundo ganglio es el cervical medio y por último ganglio estrellado el cual se forma con la unión entre el primer ganglio torácico y el ganglio cervical inferior) (figura 2).

Conclusión

En conclusión, mientras el sistema simpático nos prepara para una emergencia, el parasimpático nos regresará a la calma. De esta manera ambos sistemas se complementan, pero no se pueden estimularse a la vez puesto que sus funciones son opuestas o incompatibles (ver figura 4).

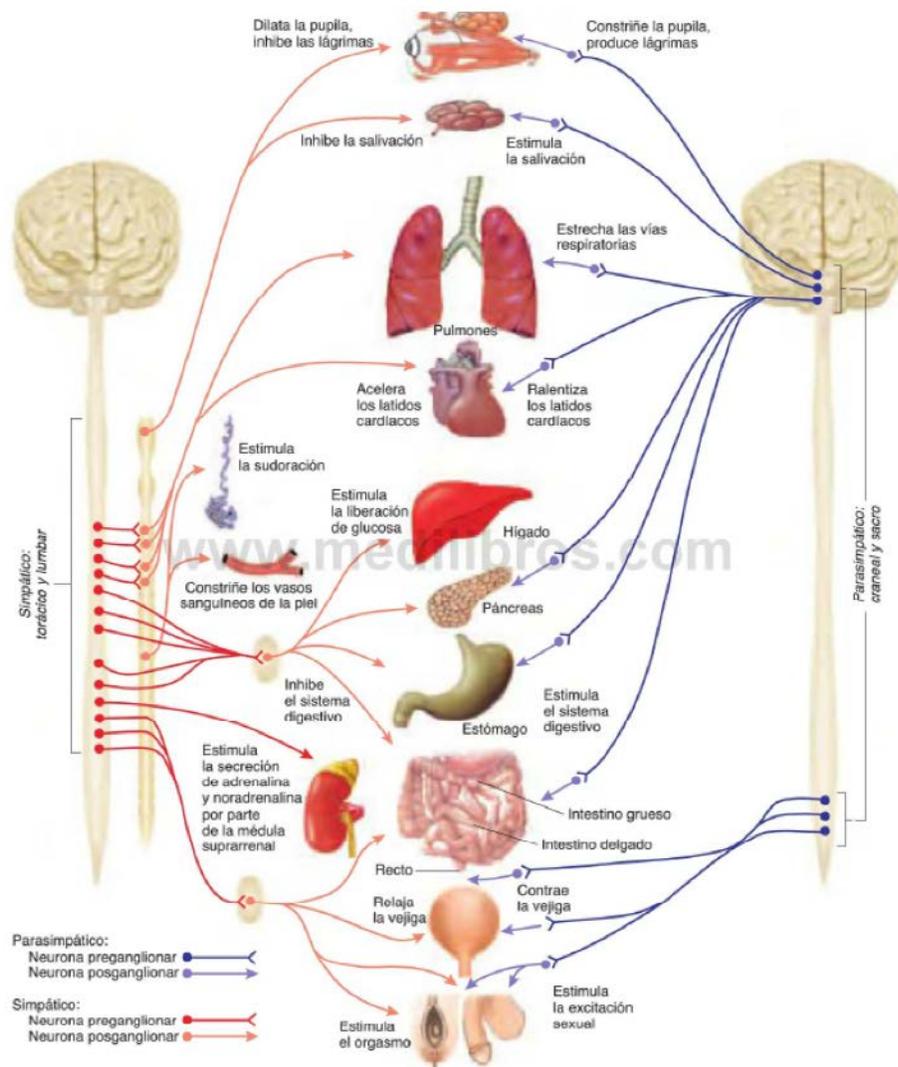


Figura 4. Comparación entre el Sistema nervioso simpático y parasimpático
Fuente: Carlson. 2014.

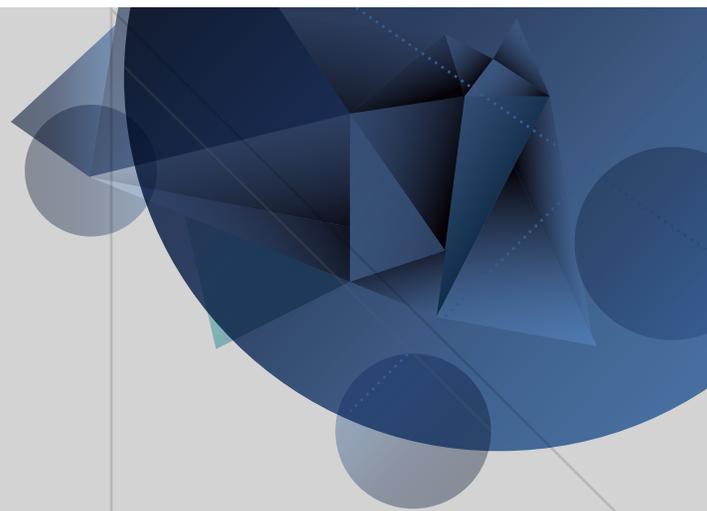
En la imagen se ve a la izquierda los órganos que controla el sistema simpático y a la derecha los órganos que inerva el parasimpático.



4

Unidad 4

Nervios cervicales



Desarrollo humano y nuevas
ciudadanías

Autor: Edwin Camilo Saavedra Espitia

Introducción

Con esta semana se llega al final de la materia de Neuroanatomía funcional, en la cual hicimos todo un recorrido por el sistema nervioso (figura 1) desde su desarrollo, neuroanatomía y funciones específicas de cada una de las regiones que lo componen, hasta llegar al sistema nervioso periférico y sus subdivisiones. La asignatura inició con el desarrollo encefálico desde la fecundación hasta la neurulación y organogénesis. Posteriormente se describieron las células del sistema nervioso, glía y neurona, sus regiones morfológicamente caracterizadas, composición, función y forma de comunicación con otras células. Seguido a esto se explicaron las divisiones del encéfalo, los medios de protección (líquido cefalorraquídeo y meninges), ventrículos y por último vimos una de las divisiones del sistema nervioso periférico, el sistema nervioso autónomo. En esta última cartilla veremos la otra subdivisión del SNP: el sistema nervioso somático y cada uno de los medios que lo componen.

Los procesos de enseñanza virtual requieren de aprendizaje autónomo (tiempo en el cual dedicara a sus lecturas o investigar los temas a tratar) y colaborativo (apoyo de los compañeros en trabajo o resolver dudas). La cartilla está diseñada para lograr que el estudiante presente una comprensión adecuada de los temas que se van a tratar en el transcurso de la semana.

Se sugieren las siguientes recomendaciones:

- Leer detenidamente la cartilla.
- Planeé los espacios y horas de estudios que dedicara al módulo, de esta manera evitara distracciones o situaciones que disminuyan su nivel de aprendizaje.
- Organizar tiempos determinados para lectura de la cartilla, lecturas complementarias, material de aprendizaje y recursos de repaso.
- Realizar dibujos, mapas conceptuales-mentales o cuadros comparativos, entre otros, que le permitan organizar la información de una forma que entienda y relacione más fácilmente.
- Apoyarse en los recursos de aprendizaje de la semana.
- Resalte aquello términos o apartados del texto que le generen dudas, intente resolverlos con las lecturas de apoyo-complementarias sugeridas, si la duda persiste consúltela con el tutor.
- Tener los materiales necesarios para generar un aprendizaje autónomo (PC, esferos, hojas, etc.) no es adecuado estar levantándose de sus puestos para ir a buscar algún material, genera una pérdida de las ideas que se trabajan.
- Adecuada iluminación.
- Suplir necesidades básicas (comida, sed, ir al baño).
- Generar una retroalimentación de los temas en el simulador que dispuso la universidad para el proceso de aprendizaje (BIOTK).

Nervios cervicales

Antes de comenzar ¿Recuerdan que el **sistema nervioso periférico** se divide en sistema nervioso somático y sistema nervioso autónomo? **El sistema nervioso somático** hace referencia a todos los nervios espinales o cervicales que salen de la médula espinal e inervan la piel, las articulaciones y los músculos que están bajo control voluntario; y los nervios o pares craneales, los cuales salen de la base del cráneo (ver tabla 1).

| Sistema nervioso somático | Sistema nervioso autónomo (SNA) |
|--|---|
| Nervios espinales | Rama simpática |
| Aferentes desde los órganos sensitivos | Nervios espinales (de las regiones torácica y lumbar) |
| Eferentes a los músculos | Ganglios simpáticos |
| Pares craneales | Rama parasimpática |
| Aferentes desde los órganos sensitivos | Pares craneales (III, VII, IX y X) |
| Eferentes a los músculos | Nervios espinales (de la región sacra) |
| | Ganglios parasimpáticos (adyacentes a órganos diana) |

Tabla 1. División del sistema nervioso periférico.
Fuente: Carlson. 2014.

Distribución de las divisiones del sistema nervioso periférico. En la parte izquierda se encuentra las divisiones del sistema nervioso somático, mientras que en la parte derecha el sistema nervioso autónomo con las ramas simpáticas y parasimpáticas.

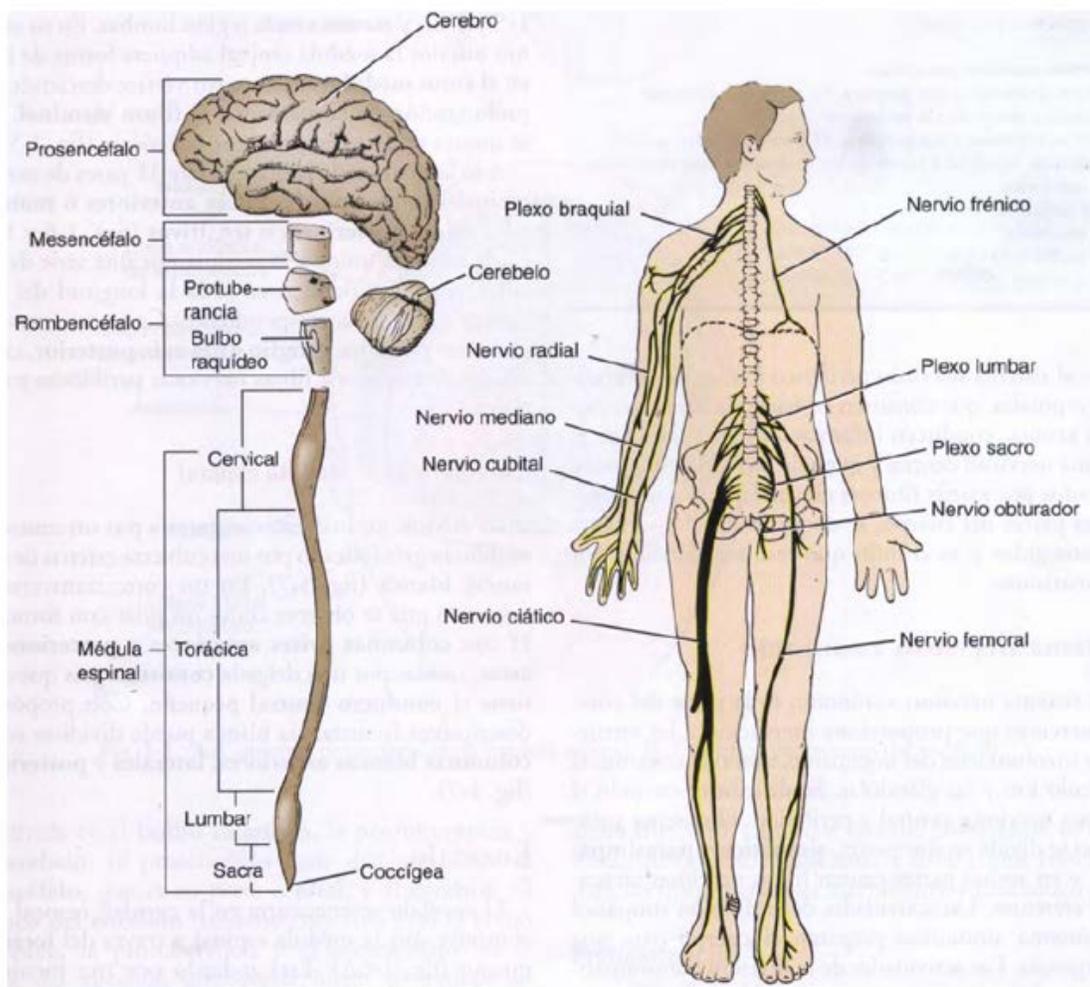


Figura 1. Diferencias entre el sistema nervioso central (lado izquierdo) y el sistema nervioso periférico (lado derecho)
Fuente: Snell. 2007.

Nervios cervicales-espinales

Los nervios espinales son el resultado de la unión de las raíces dorsales y ventrales que surgen de la médula espinal. Existen 31 pares de nervios que a diferencia de los nervios craneales nacen en la médula espinal y pasan por los forámenes intervertebrales (entre las vértebras). Su nombre lo reciben según la vértebra en la que se sitúen, de esta forma podemos encontrar 8 nervios cervicales, 12 torácicos, 5 sacros, 5 pares de nervios raquídeos lumbares y 1 coccigeo (ver figura 2). Se conectan con la médula gracias a dos raíces: la raíz ventral que lleva información desde el sistema nervioso central por medio de fibra eferentes (motoras)

al SNP, mientras que la raíz dorsal presenta fibras aferentes que traen la información hacia la médula desde los músculos, debido a que la componen fibras sensitivas. La unión de las dos raíces genera la aparición de los nervios espinales cuando salen del foramen intervertebral, para dividirse en sus ramas primarias dorsal y ventral. **La rama dorsal** lleva la inervación motora y sensitiva hacia y desde la piel y músculos de la espalda, mientras que la **rama ventral** lleva la información motora y sensitiva para el resto del cuerpo.

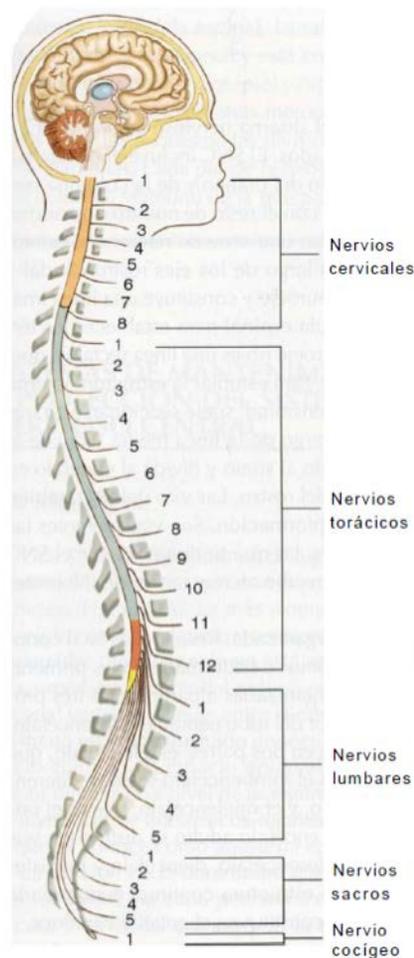


Figura 2. Se muestra la médula espinal y el nombre que reciben de acuerdo a la vértebra donde se sitúan
Fuente: Snell. 2007.

Pares craneales

Los nervios o pares craneales nacen en el cerebro y están unidos a la superficie ventral del encéfalo, se encuentran en pares, siendo en total 12 y la mayoría desempeñan funciones sensoriales y motoras referentes a la región de la cabeza y el cuello (ver figura 3).

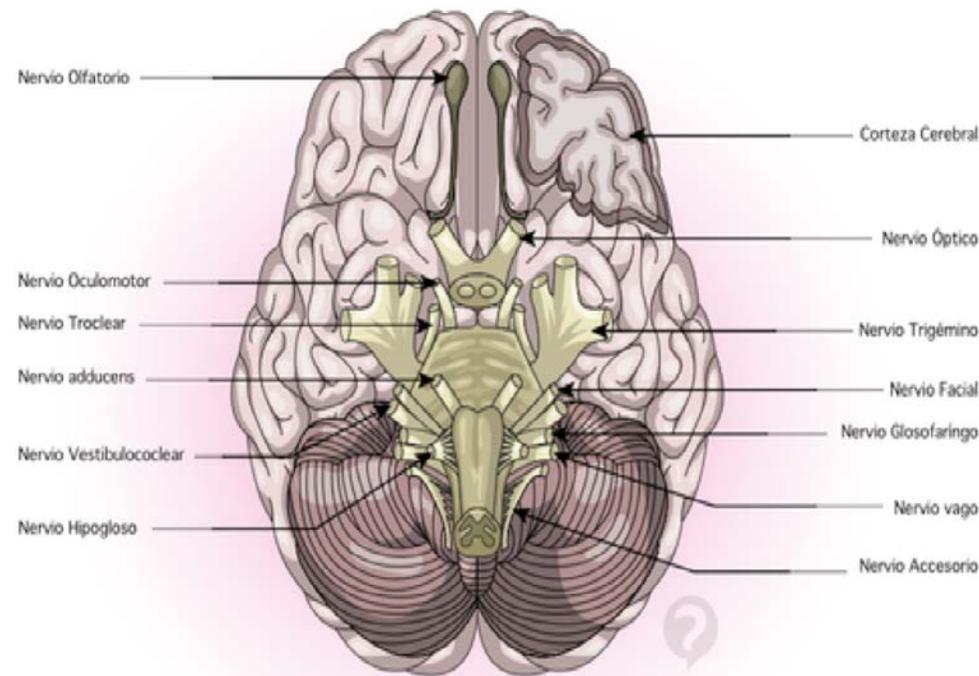


Figura 3. Vista ventral de los pares craneales emergiendo de la base del cráneo
Fuente: Snell. 2007.

Los pares craneales están enumerados de I a XII, casi en orden de arriba (cefálico) hacia abajo (caudal) (Monkhouse 2014) (ver figura 4). En los nervios craneales podemos encontrar las siguientes funciones:

- Tres son puramente sensitivos: pares I, II y VIII.
- Cinco son puramente motores: pares III, IV, VI, XI y XII.
- Cuatro son mixtos: pares V, VII, IX y X.

Ahora debemos saber de donde nacen:

- Están unidos a los hemisferios cerebrales y son protuberancias del cerebro: I y II pares.
- Nacen en el Mesencéfalo: III y IV pares.
- Nacen en la Protuberancia: V, VI, VII y VIII pares.
- Nace en el Bulbo: IX, X, XI y XII pares.

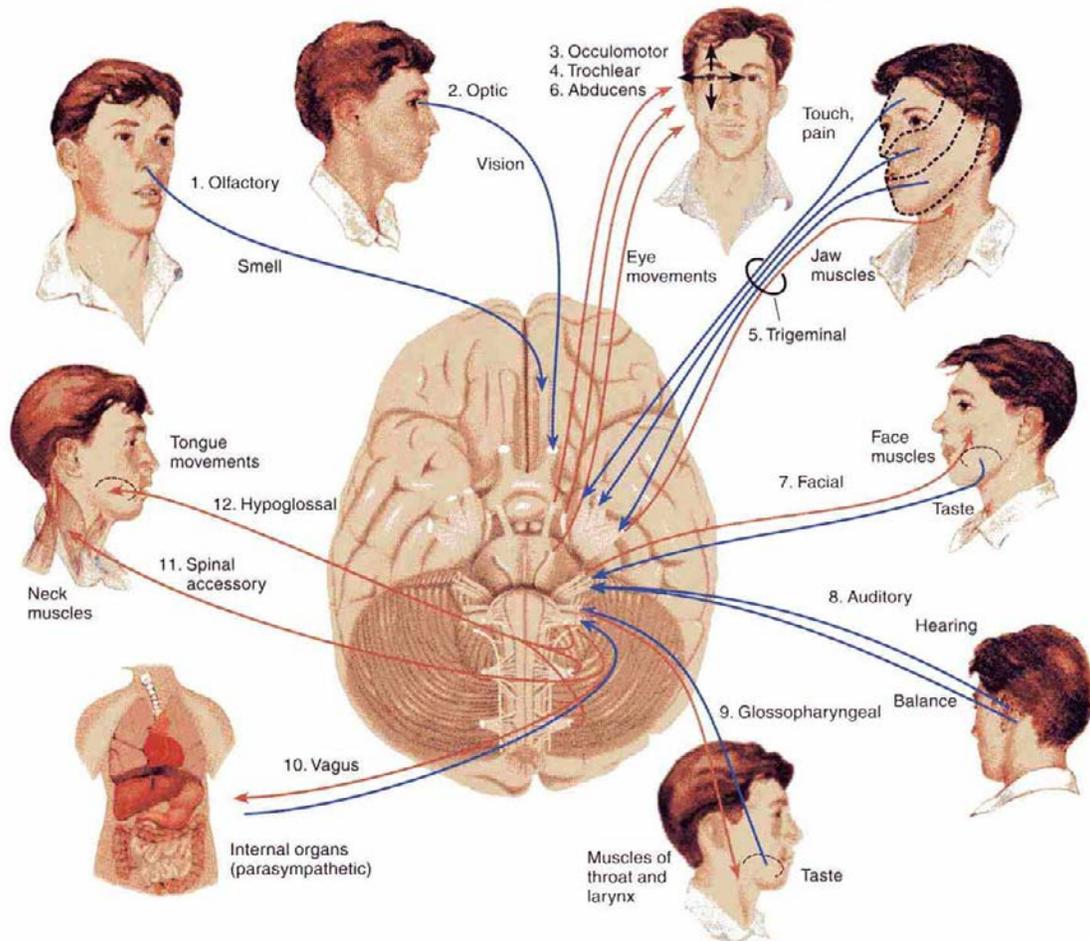


Figura 4. Diagrama de las funciones y donde nacen los pares craneales

Fuente: http://www.centeronbehavioralmedicine.com/web_pages_behavioral_medicine/3_Additional%20Material/brain_anatomy/File008.jpg

Ya con esta información podemos entrar a hablar detenidamente de cada uno de los pares, sus funciones específicas y cómo evaluarlos.

Nervio (I) olfatorio

Este nervio es el más corto de los pares craneales y se localiza en el epitelio olfatorio que recubre la mayor parte del cornete superior y la pared opuesta al tabique en las fosas nasales, pasando por la lámina cribosa para conectarse con el bulbo olfatorio (ver figura 5).

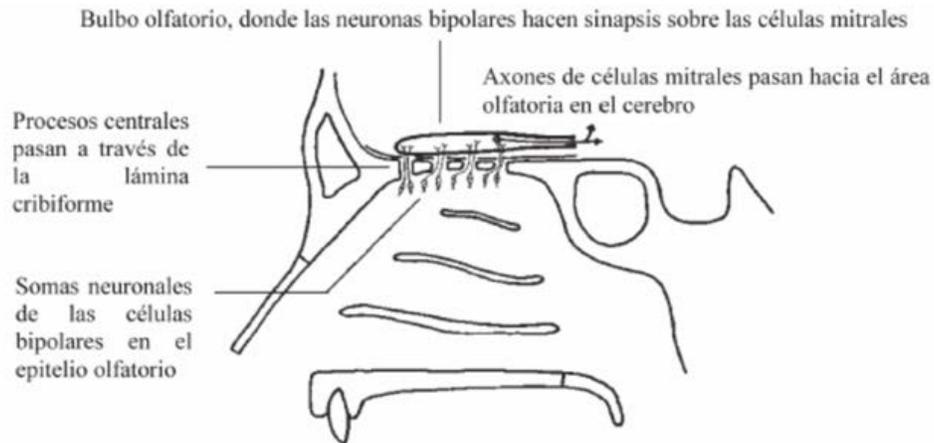


Figura 5. Distribución del par craneal I, desde donde se presenta el nacimiento y como generan sinapsis
Fuente: Snell. 2007.

Función

El nervio olfatorio es un nervio únicamente sensorial, por lo que su función es conducir impulsos olfatorios de la nariz al sistema nervioso central.

Evaluación

Para realizar la evaluación se debe mostrar diferentes estímulos (conocidos) de tipo olfativo para identificar si el sujeto es capaz de reconocer olores (ver figura 5). Esto porque en caso en que se lesione este nervio las personas pueden presentar **Hiposmia** (disminución en el sentido del olfato, solo detectan olores muy fuertes), **anosmia** (no puede detectar ningún olor, ni fuerte ni débil), o **hipernosmia** (hipersensibilidad olfativa).

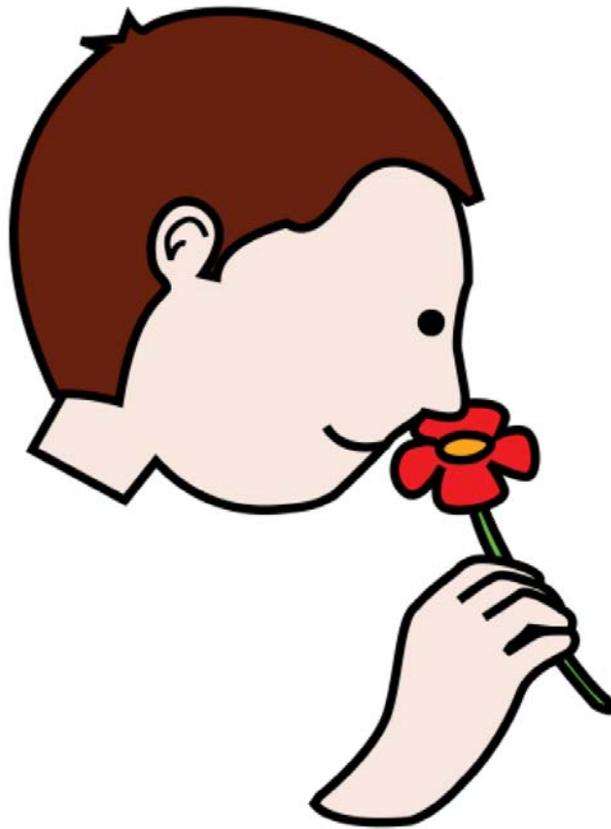


Figura 6. La forma de evaluar el nervio es dar a oler algo al paciente, preferiblemente conocido y que no genere un daño

Fuente: https://1.bp.blogspot.com/-nKpKXA5LNbA/WKIsTD_d_hI/AAAAAAAAA7c/JTlJmvsRI076rG71A-4B4eo0JDylhzSACLcB/s1600/Nose-sniffing-clipart-clipartfest.jpeg

Gracias al olfato, el recién nacido orienta la cabeza, localiza y atrapa el pezón de su madre.

Nervio (II) óptico

El nervio óptico se localiza en el agujero óptico y permite transmitir la información visual desde la retina hasta el encéfalo. En el quiasma óptico las fibras provenientes de la retina se cruzan y luego a través del tracto óptico, las fibras se proyectan al núcleo geniculado lateral del tálamo, hasta llegar a la corteza visual primaria donde se procesará la información visual (ver figura 7).

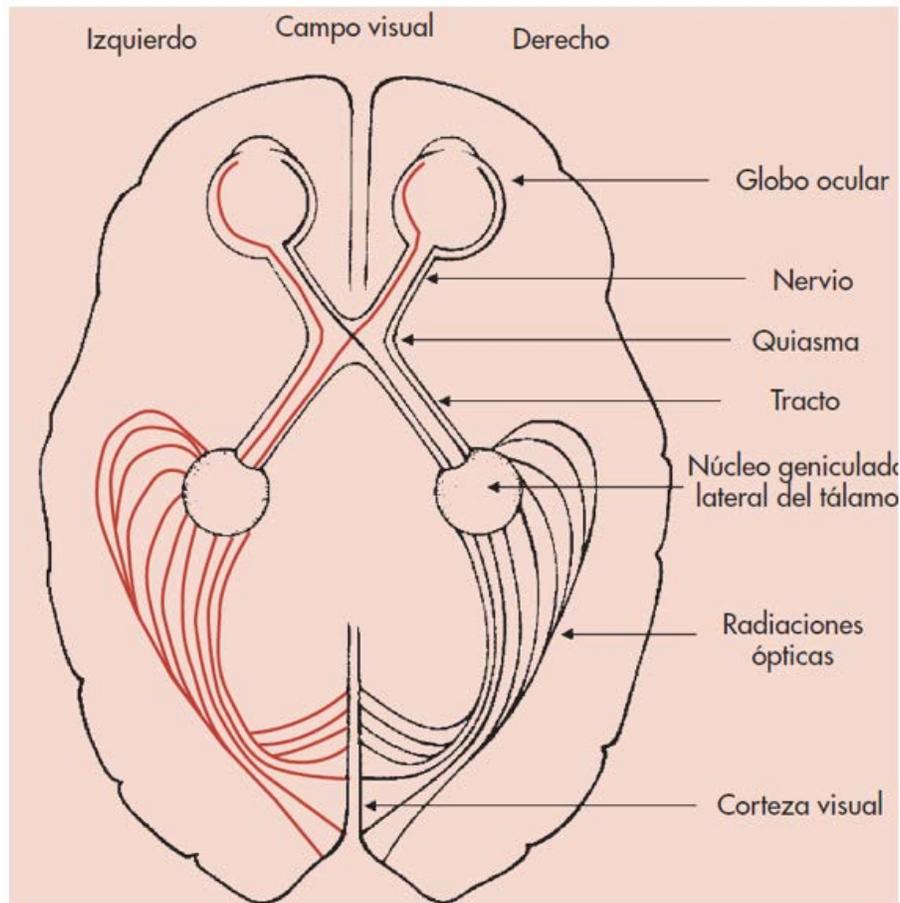


Figura 7. Representación del recorrido del par craneal 2, desde el sentido hasta las áreas correspondientes
Fuente: García, Quero. 2012.

Función

Es un nervio de tipo sensorial, el cual recibe la información visual y la transporta a las áreas correspondientes, 17,18 y 19, que según Brodmann están localizadas en el lóbulo occipital.

Evaluación

El objetivo de evaluar el nervio es medir agudeza e integración del campo visual, además de la visión de color. La agudeza visual puede ser evaluada con el test de Snellen (ver figura 8), y el nervio óptico puede explorarse con el examen del fondo de ojo, el cual se hace a través del instrumento oftalmoscopio que gracias a una luz permite ver la retina y las estructuras pertinentes empezando por el nervio óptico.

| | | |
|--------------------------|----|--------|
| E | 1 | 20/200 |
| F P | 2 | 20/100 |
| T O Z | 3 | 20/70 |
| L P E D | 4 | 20/50 |
| P E C F D | 5 | 20/40 |
| E D F C Z P | 6 | 20/30 |
| F E L O P Z D | 7 | 20/25 |
| D E F P O T E C | 8 | 20/20 |
| L E F O D P C T | 9 | |
| F D P L T C E O | 10 | |
| F E Z O L C F T D | 11 | |

Figura 8. Test de Snellen

Fuente: <http://www.avgeekery.com/wp-content/uploads/2017/04/optem.jpg>

Este test está diseñado para evaluar agudeza visual. Las letras van decreciendo en tamaño dependiendo del nivel en que se encuentran. Un nivel 20/20 corresponde a la visión normal.

Nervio (III) oculomotor o motor común

El tercer par craneal se origina en el mesencéfalo e inerva los músculos extrínsecos del ojo (globo ocular, elevador del párpado superior, recto superior, recto medial y oblicuo inferior) (ver figura 9).

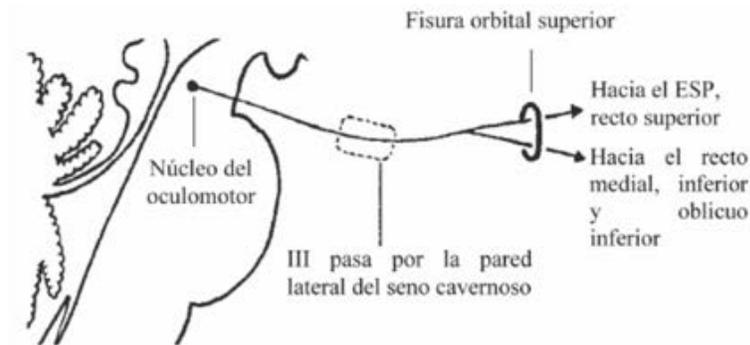


Figura 9. Descripción de la vía del nervio III, desde donde nace hasta el punto donde se conecta
Fuente: García, Quero. 2012.

Funciones

Este es un nervio motor, por lo tanto, es uno de los nervios que se encarga de controlar el movimiento del ojo y el tamaño de la pupila, sea miosis (contracción de la pupila) o midriasis (dilatación de la pupila).

Evaluación

Para evaluar este par craneal se puede utilizar el mismo oftalmoscopio o solicitarle al paciente que mire un objeto (un esfero, una linterna) aclarando que no debe mover la cabeza, si no seguir el objeto solo con los ojos. También se pueden utilizar líquidos para dilatar la pupila. Una lesión en este nervio puede generar alteración en el movimiento ocular e incluso del músculo del párpado (ver figura 10).

PARES CRANEALES III-IV-VI

ALTERACIONES

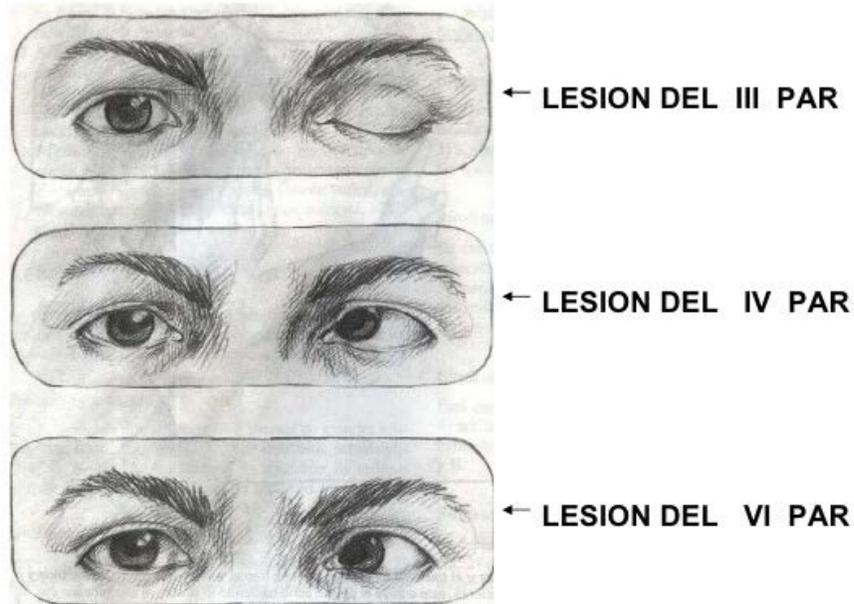


Figura 10. Lesión del tercer par craneal

Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/parescraneales-111102094103-phpapp02/95/pares-craneales-35-728.jpg?cb=1320227322>

La imagen muestra un paciente con lesión en el nervio oculomotor y por lo tanto presenta un párpado caído y dificultades en los movimientos del ojo (arriba, abajo, media) o no ser capaz de tener midriasis.

Nervio craneal (IV) Troclear

Este nervio se encuentra en la parte anterior de la sustancia gris del mesencéfalo caudal y por debajo del nervio oculomotor. El nervio troclear al momento de salir del mesencéfalo se decusa y luego pasa a inervar el músculo oblicuo superior del globo ocular (ver figura 11).

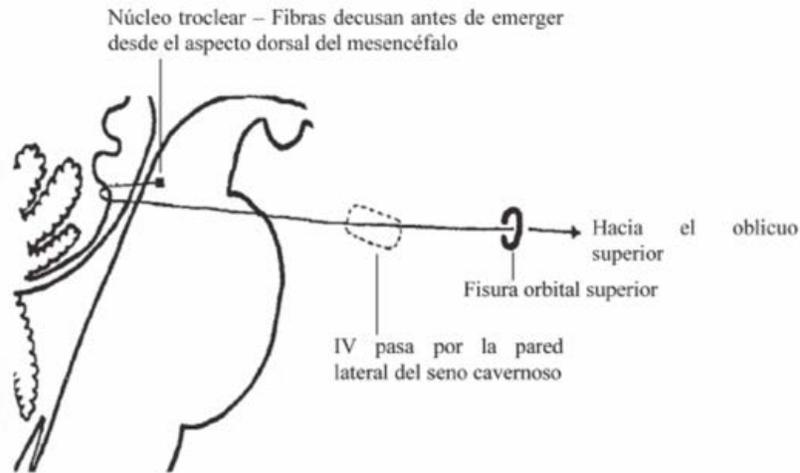


Figura 11. Descripción de la vía del nervio IV, desde donde nace (núcleo troclear) hasta el punto donde se conecta (músculos oblicuos)
Fuente: García, Quero. 2012.

Funciones

Este nervio es motor, por lo tanto, al inervar el músculo oblicuo superior que se encuentra detrás del globo ocular, se encarga de permitir la rotación en un plano vertical y en el plano de la cara (poder mirarnos la punta de la nariz)

Evaluación

Una lesión de este par craneal puede causar hipertropia: tipo de estrabismo en el que los ojos se desvían hacia arriba o abajo respectivamente. La evaluación puede ser la misma del par anterior (ver figura 12). Es importante mencionar que, a diferencia de los otros nervios, exceptuando el II, una lesión del este nervio afecta el lado contralateral, es decir el ojo contrario.

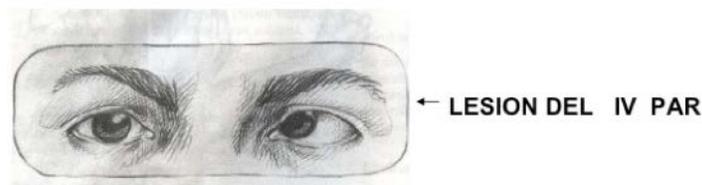


Figura 12. Los movimientos de una persona con daño en el par IV
Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/parescraneales-111102094103-phpapp02/95/parescraneales-35-728.jpg?cb=1320227322>

Se realizan para el mismo lado donde está inervando el músculo.

Nervio (V) trigémino

Es uno de los nervios más grandes que se origina en la protuberancia y contiene fibras de tipo sensorial y motoras. Su nombre lo recibe porque abarca tres áreas, la primera es la parte oftálmica (área de los ojos), la segunda es maxilar (el hueso maxilar) y por último, la parte mandibular (la mandíbula) (ver figura 13).

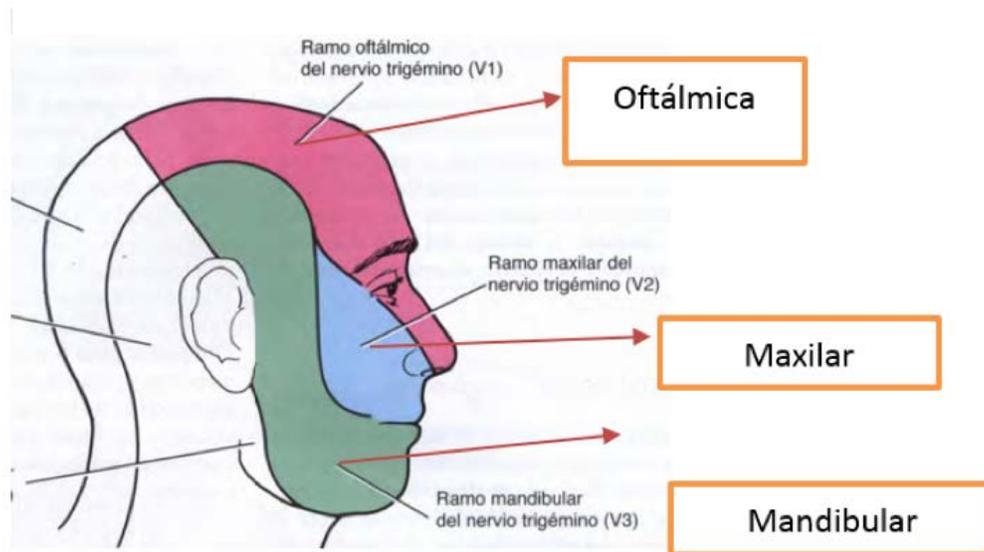


Figura 13. Descripción de las inervaciones del nervio V, denominado trigémino con sus tres ramas de inervación, oftálmica, maxilar y mandibular

Fuente: Snell. 2007.

Funciones

Al ser un nervio mixto (sensorial y motor) e inervar músculos masticadores del tensor del tímpano, tensor del velo palatino, el milohioideo y el vientre anterior del digástrico, permite controlar el movimiento de masticación, así como recibir información de sensaciones táctiles, propioceptivas y de dolor de la parte anterior de la lengua, piezas dentarias, la conjuntiva del ojo, la mucosa bucal, nariz, los senos paranasales y la cara en general.

Aclaración: El nervio V y VII están muy relacionados por eso son nervios mixtos. Pero por separado cumplen una función específica, quiere decir que el nervio V (trigémino) se encarga principalmente de la sensación del rostro y el nervio VII (facial) se encarga de las funciones motoras.

Evaluación

Para evaluar el adecuado funcionamiento de este nervio podemos pasar suavemente diferentes texturas por el rostro del paciente (verificando que el paciente tenga los ojos cerrados) y verificar en que región lo sintió el paciente y si reconoce lo qué era.

Nervio (VI) abducente

Se sitúa debajo del cuarto ventrículo, saliendo por medio de la protuberancia y el bulbo raquídeo, luego ingresa a la órbita del ojo generando inervación al músculo recto lateral (ver figura 14).

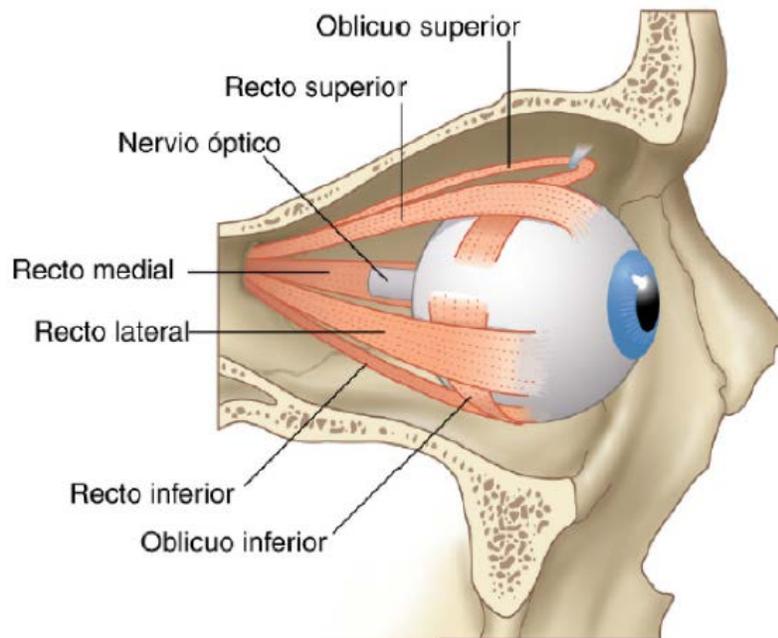


Figura 14. Descripción del recorrido que genera el nervio VI y los músculos que inerva, los oblicuos mediales
Fuente: https://clinicalgate.com/wp-content/uploads/2015/03/B9780702037382000231_f023-001-9780702037382.jpg

Funciones

Al permitir el movimiento del músculo rectal lateral permite la abducción del ojo, es decir girar el ojo en dirección opuesta a la nariz o para entender mejor generar movimientos del *ojo* en el plano horizontal alejándose de la línea media de la cara. Este nervio se denomina abducens porque realiza la abducción del ojo.

Evaluación

Para evaluar este par, al paciente se le puede solicitar seguir un objeto. Cuando existe alguna lesión uno de los ojos tendrá dificultad para mirar lateralmente, mientras que el otro ojo se moverá normalmente. Asimismo, una lesión podría generar una dificultad para que el ojo gire completamente hacia afuera en dirección al oído, a pesar de que aún podamos mover el ojo hacia arriba y hacia abajo o hacia la nariz (ver figura 15).

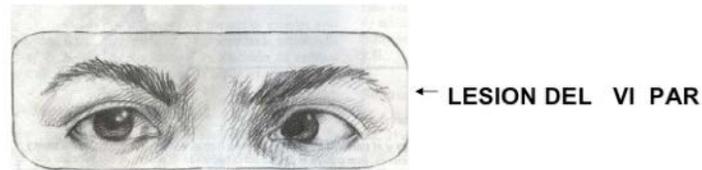


Figura 15. Movimiento ocular de una persona con daño en nervio abducens
Fuente: <http://image.slidesharecdn.com/parescraneales-111102094103-phpp02/95/pares-craneales-35-728.jpg?cb=1320227322>

La imagen muestra como el ojo derecho de la persona no será capaz de girar hacia afuera, por lo que los ojos nunca estarán lineados.

Nervio (VII) facial

Es un nervio mixto (sensitivo-motor) que se origina en la porción inferior del puente troncoencefálico, este genera una inervación en las tres partes del rostro (oftálmica, maxilar y mandibular).

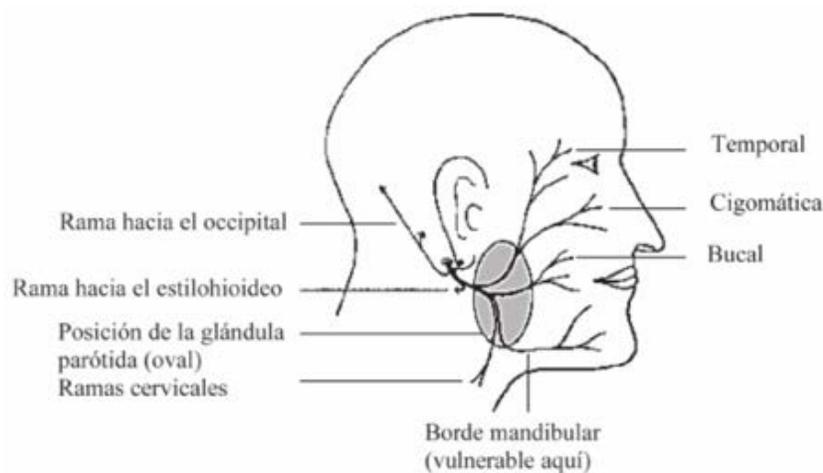


Figura 16. Descripción del recorrido y los puntos que inerva el nervio VII, con las mismas ramas del nervio V, oftálmica, maxilar, mandibular
Fuente: Monkhouse. 2014.

Función

Debido a tener fibras motoras y sensitivas tiene funciones mixtas, quiere decir que recibe la información sensorial del rostro y los impulsos gustativos de la parte anterior de la lengua y por otra parte, como función motora se encarga de la expresión facial y del control de la glándula lagrimal.

Evaluación

Podemos evaluar el séptimo par craneal simplemente observando el rostro del paciente y su simetría. Asimismo podemos solicitar que el paciente haga algunos gestos con su rostro (sonreír, hacer una mueca, arrugar la frente).

Nervio (VIII) Vestibulococlear

El octavo par craneal se conecta en el oído interno en los canales vestibular, coclear y timpánico, luego se dirige al conducto auditivo interno y posterior a la corteza auditiva en el lóbulo temporal. Luego de comunicarse con las células bipolares del ganglio coclear, pasan por el meato acústico interno, posteriormente, al núcleo coclear en el bulbo, pasan por los colículos inferiores, el cuerpo geniculado medial y por último a la corteza auditiva (ver figura 17).

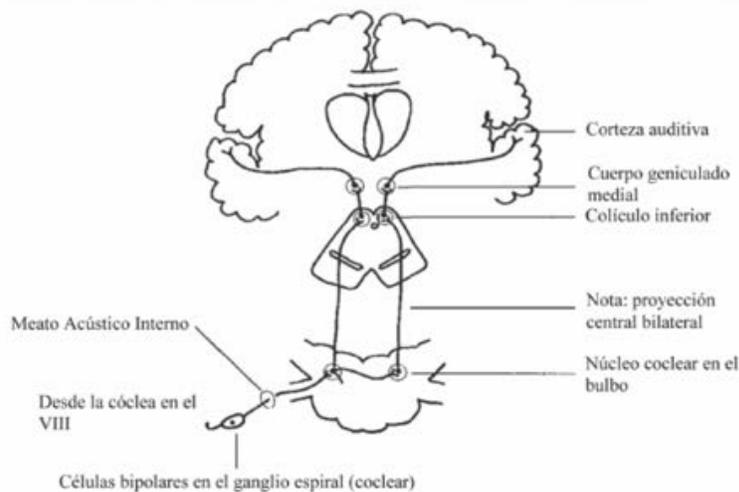


Figura 17. Descripción del recorrido y los puntos que inerva el nervio VIII, desde las células bipolares en el ganglio coclear hasta la corteza auditiva

Fuente: Monkhouse 2014.

Funciones

El nervio vestibulococlear es aferente de tipo sensorial y es el responsable del equilibrio y la percepción de sonidos, rotación y gravedad.

Evaluación

Para evaluar este nervio se le puede pedir a la persona que camine sobre una superficie y observar su marcha y si tiene estabilidad en sus movimientos corporales (ver figura 18). Asimismo, la función auditiva se podrá evaluar haciendo algún sonido como chasquear los dedos o dar una palamada bilateralmente en los oídos y preguntarle al paciente si escucha dichos sonidos a ambos lados y si el sonido es parejo en intensidad.



Figura 18. Le pedimos al paciente que camine para evaluar el equilibrio y además, le damos a conocer sonidos de diferente magnitud

Fuente: <http://bilder.bild.de/fotos-skaliert/pfeifen-im-ohr-die-besten-strategien-gegen-tinnitus-11375848-34468722/2,w=650,c=0.bild.jpg>

Nervio (IX) Glossofaríngeo

El noveno par craneal se origina en el surco lateral del bulbo raquídeo y se va a unir con la parte posterior de la lengua para generar el componente sensitivo, y con la faringe para realizar su función motora con la deglución del alimento (ver figura 19).

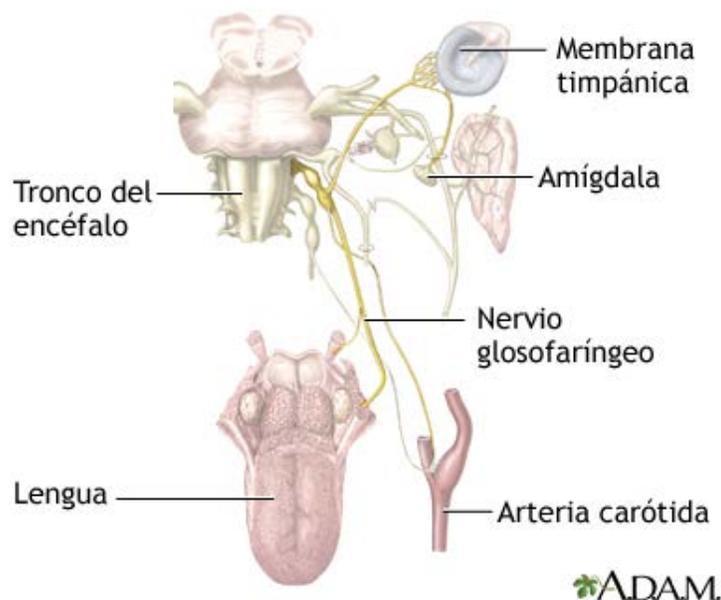


Figura 19. Nervio glossofaríngeo. La imagen muestra el nervio emergiendo del tronco del encéfalo y sus conexiones con la lengua y la faringe

Fuente: <http://keckmedicine.adam.com/graphics/images/es/9350.jpg>

Funciones

Como es un nervio mixto, permite el control de la presión arterial, la deglución del alimento y sensaciones de la lengua.

Evaluación

Se le puede dar algún alimento a la persona y preguntar acerca de su percepción del sabor que tiene. Para la parte motora solicitamos que trague saliva.

Nervio (X) Neumogástrico o vago

Es el nervio más grande que presentamos, se origina en el bulbo raquídeo e inerva la faringe, el esófago, la laringe, la tráquea, los bronquios, pulmones, el corazón, el estómago, el vaso, el páncreas, el hígado, entre otros. Abandona el bulbo raquídeo, pasa por la oliva (complejo de neuronas motoras) y luego viaja a los órganos diana donde cumplirá su función (ver figura 20).

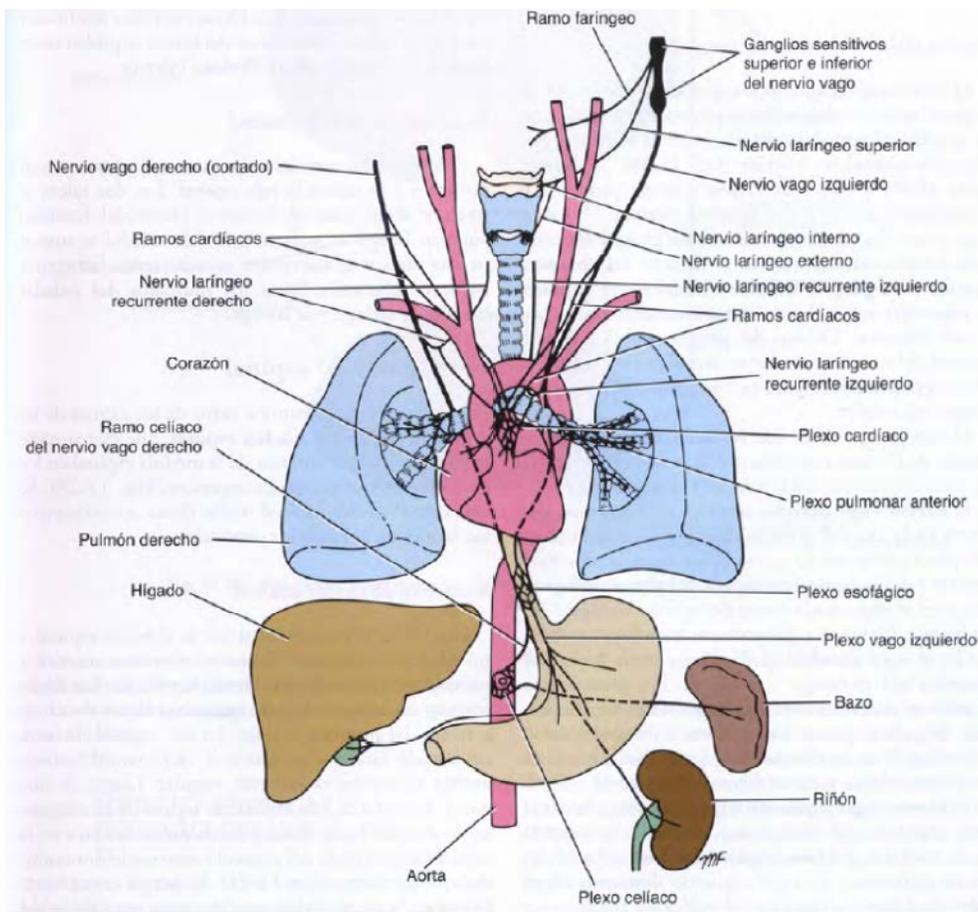


Figura 20. Descripción de las inervaciones que genera el nervio X, es el más grande que se presenta debido a que inerva todas las estructuras viscerales
Fuente: Snell. 2007.

Funciones

Controla los músculos que ayudan a articular sonidos en el paladar blando, igualmente controla las funciones viscerales como la tos, deglución, vómito, digestión y homeostasis interna. Finalmente, permite la percepción sensitiva de Parte posterior de la nariz y la garganta, el estómago, la laringe, entre otros.

Evaluación

Se evalúa el tono de la voz (disfonías continuas) y el reflejo del vomito (con un baja lenguas, se estimula levemente la parte posterior de la lengua y se observa si se presenta). Lesiones en este nervio pueden generar afonía o dificultad para tragar.

Nervio (XI) Accesorio o espinal

Es un nervio motor que se une a una raíz craneal y una espinal, sale del bulbo raquídeo e inerva los músculos esternocleidomastoideo y trapecio (ver figura 21).

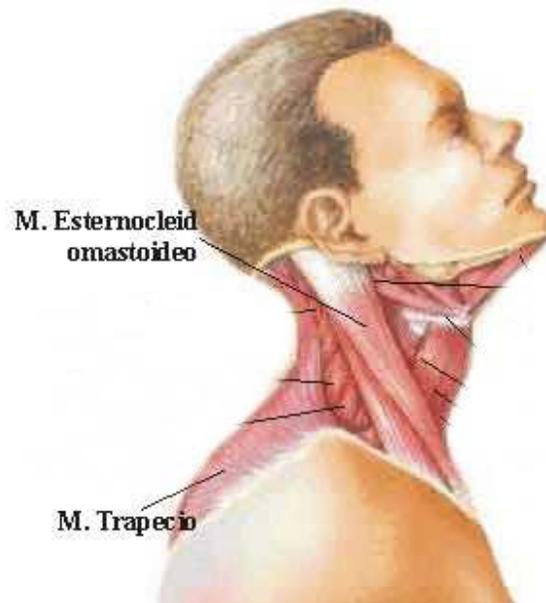


Figura 21. Muestra los músculos que inerva el par craneal, en la parte superior el esternocleidomastoideo y en la parte inferior el trapecio

Fuente: http://4.bp.blogspot.com/-eeSNnB9NJGU/UcGBksnB_wl/AAAAAAAAA0E/Fy3kdyX5c38/s1600/musculos+cervicalgia.jpg

Funciones

Al ser un nervio motor, permite los movimientos del músculo del hombro y el cuello, así como el tono muscular de ambos y la rotación de la cabeza.

Evaluación

Este nervio es un componente somático del estrés y la ansiedad, por tal motivo podemos tocar los músculos y ver el movimiento y el nivel de contracción en el que se encuentren. Personas con lesión en este nervio presenta un cuello rígido y no pueden realizar movimiento del mismo.

Nervio (XII) hipogloso

Sale de la superficie anterior del bulbo raquídeo entre la oliva (unión de neuronas motoras) en el núcleo hipogloso, pasa por la arteria carótida interna y la vena yugular y, por último, inerva los músculos de la lengua (ver figura 22).

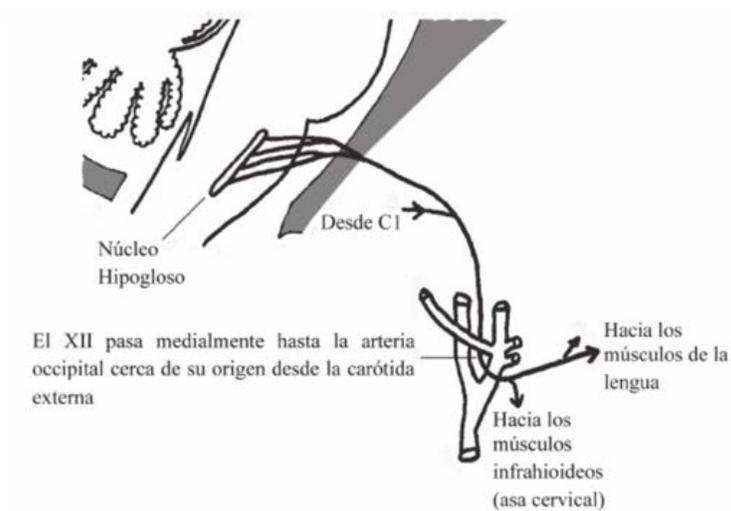


Figura 22. Descripción del recorrido y los puntos que inerva el nervio XII, desde el núcleo que nacen hasta el órgano que inerva, la lengua
Fuente: Monkhouse. 2014.

Funciones

Nace en el núcleo hipogloso del bulbo raquídeo, generando solo funciones motoras que inervan la lengua y generan los movimientos de la misma.

Evaluación

Le solicitamos al paciente que saque la lengua, realice movimiento de arriba, abajo. Además, observamos el tamaño, el color y la forma de la lengua. Cuando se presenta una lengua muy grande se conoce como hiperglosia y cuando la lengua es muy pequeña se denomina hipoglosia, esto es un caso patológico y depende de la cavidad bucal.

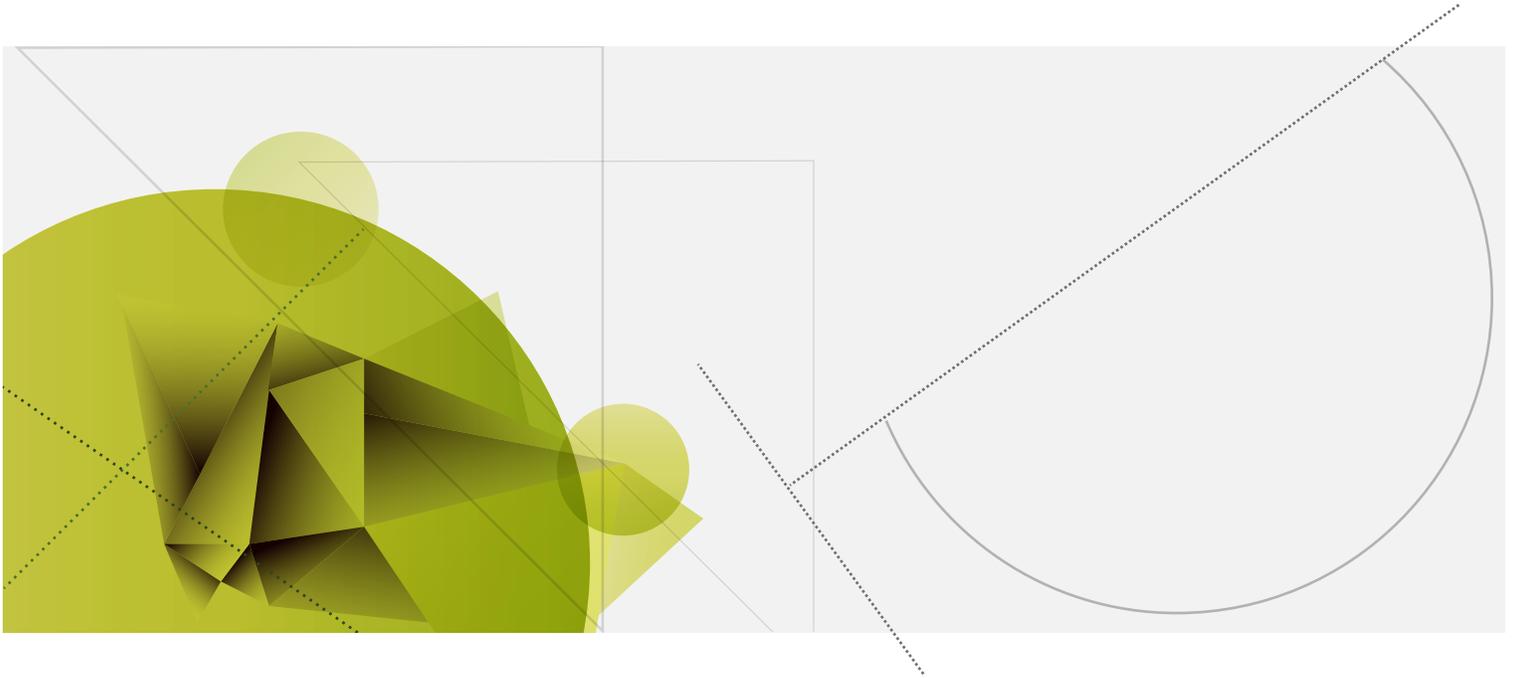
Conclusiones

En conclusión, el encéfalo y la médula espinal se comunican con el resto del organismo a través de los pares craneales y los nervios espinales. Ambos nervios pertenecen al sistema nervioso periférico, el cual permitirá la transmisión de la información sensitiva al sistema nervioso central y a su vez enviará la información del sistema nervioso central a los músculos y las glándulas del resto del organismo para que generemos la respuesta adecuada al estímulo externo.

Bibliografía

- Abril et al. (2009). Fundamentos de psicobiología. Editorial Sanz y Torres. Edición 1.
- Bear, M., Connors, B. & Paradiso, M. (2008). Neurociencias la exploración del cerebro.
- Cardinali, P. (1991). Manual de neurofisiología. Ediciones Díaz de Santos.
- Carlson, N. (2002). Fisiología de la Conducta. Ariel neurociencia.
- Clark, D., Boutros, N. & Méndez, M. (2007). El Cerebro y la Conducta: Neuroanatomía para psicólogos. Editorial Manual Moderno.
- Delgado, J. (1998). Manual de Neurociencia. Madrid: Síntesis D.L.
- Guyton, A. (2001). Tratado de fisiología médica. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana D.L.
- Kandel, E. (1997). Neurociencia y conducta. Madrid: Prentice Hall.
- Nelson, J. (1996). Psicoendocrinología las bases hormonales de la conducta. Barcelona: Ariel.
- Pinel, J. (2006). Biopsicología. Editorial Addison-Wesley.
- Purves et al. (2009). Neurociencias. Editorial panamericana médica. 3 edición.
- Snell, R. (2007). Neuroanatomía clínica. Editorial panamericana. 6 edición.

Esta obra se terminó de editar en el mes de noviembre
Tipografía Myriad Pro 12 puntos
Bogotá D.C.,-Colombia.



AREANDINA
Fundación Universitaria del Área Andina

MIEMBRO DE LA RED
ILUMNO