

# FUNDAMENTOS DE NEUROCIENCIA CONDUCTUAL

## UNIDAD 3. Anatomía del Sistema Nervioso

### Objetivo

El objetivo es conocer la anatomía del sistema nervioso distinguiendo cada una de sus partes, su situación en las tres dimensiones del espacio, la anatomía y función de los principales núcleos y centros nerviosos, así como las principales vías sensoriales y motoras, y su proyección conductual. Estudiaremos el sistema límbico y le introduciremos en el análisis de las principales diferencias anatómicas, bioquímicas y funcionales entre ambos hemisferios cerebrales y su correlato funcional. Así mismo es objetivo de esta unidad que se comprenda los principales lóbulos y áreas de la corteza y se introduzca en el estudio de las funciones superiores, fundamentalmente la relación función cognitiva corteza cerebral. Finalmente abordaremos el estudio anatomo-funcional del sistema nervioso periférico.

### Contenido

Tema 1. Organización general del Sistema Nervioso. Principales divisiones. Vascularización cerebral. Meninges. Sistema ventricular.

Tema 2. Medula espinal. Vías sensitivas y motoras. Tallo cerebral. Cerebelo. Implicación conductual.

Tema 3. Diencefalo. Epitálamo, tálamo e hipotálamo. Conexiones funcionales y consideraciones comportamentales.

Tema 4. La región subcortical. Ganglios basales. El cuerpo calloso, el fórnix y las comisuras blancas. El sistema límbico. Consideraciones conductuales.

Tema 5. La corteza. Estudio histológico. Lóbulos cerebrales. Áreas funcionales. Lateralidad y dominancia hemisférica. Conexiones inter e intrahemisféricas. Integraciones superiores.

Tema 6. Sistema Nervioso Periférico: Estructura y Divisiones.

### Equipo docente

Garikoitz Azkona Mendoza

Garikoitz Beitia Oyarzabal

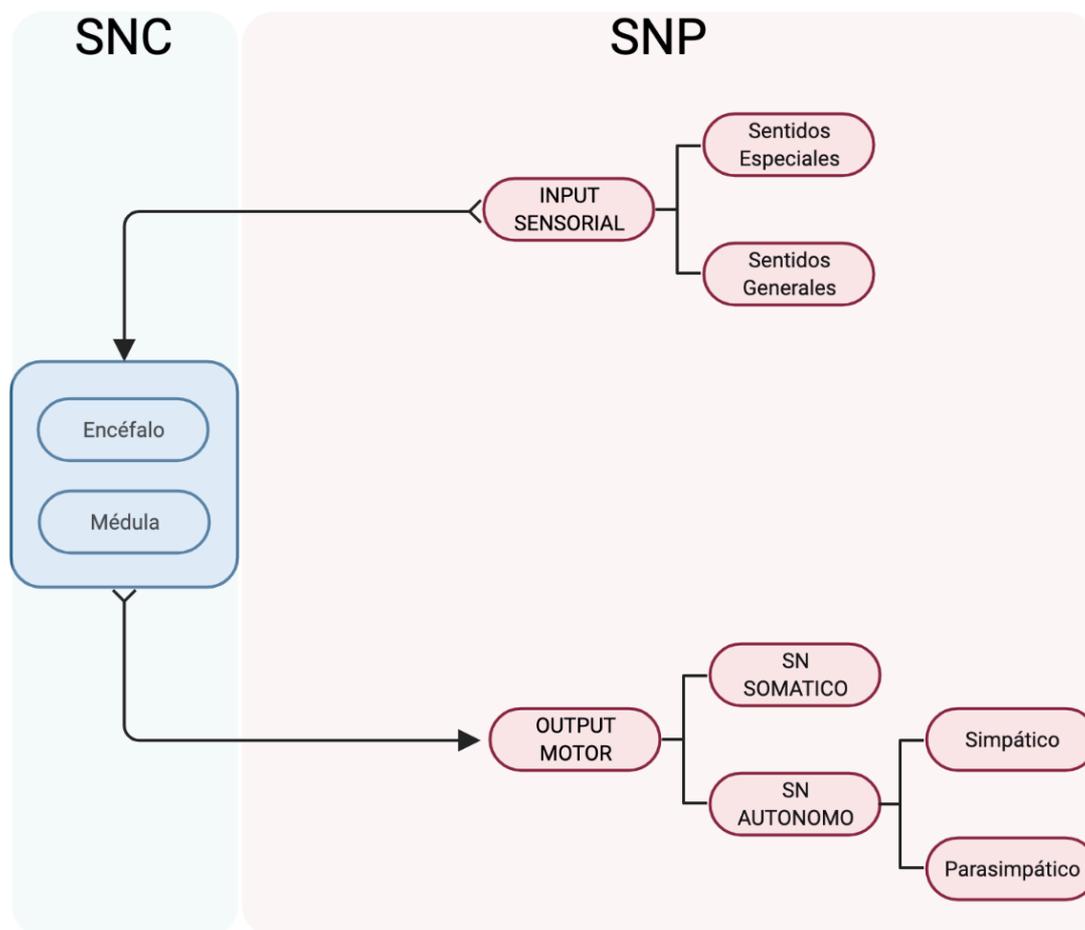
Maidier Muñoz Culla

Eider Pascual Sagastizabal

Oscar Vegas Moreno

## Tema 1. Organización general del Sistema Nervioso. Principales divisiones. Vascularización cerebral. Meninges. Sistema ventricular

Dejamos atrás el nivel celular de estudio del Sistema Nervioso para adentrarnos en el análisis de su estructura anatómica básica. Para ello, abordaremos en primer lugar los sistemas especiales de protección del tejido nervioso, especialmente sensible por las funciones que alberga, y las principales vías de aporte sanguíneo. A continuación, se presentarán las principales divisiones anatómicas del Sistema Nervioso (ver Figura 1), y se abordará su estudio de forma sistemática.



**Figura 1.** Representación esquemática de las principales divisiones del Sistema Nervioso: Sistema Nervioso Central (SNC) y Sistema Nervioso Periférico (SNP). Imagen de los autores.

Como se muestra en la imagen anterior, el SN se divide para su estudio en SNC, formado por la médula y el encéfalo, y el SNP formado por los nervios que permiten la entrada y salida de información del SNC.

En el desarrollo del encéfalo se diferencian diferentes estructuras que se irán diferenciando en los núcleos que iremos describiendo a lo largo del curso (Figura 2).



**Figura 2.** Clasifican en el desarrollo del encéfalo. Imagen de los autores.

Antes de iniciar el estudio anatómico del Sistema Nervioso conviene recordar los planos y ejes que se utilizan para localizar sus estructuras en el espacio tridimensional.

Cuando vemos el cerebro desde arriba, tenemos una visión dorsal. Vista desde abajo, visión ventral. La visión lateral nos permite observar el cerebro desde la izquierda o la derecha. Por otra parte, las secciones cerebrales pueden realizarse en los 3 planos: **Plano o corte horizontal**, que divide al cerebro en superior e inferior. **Corte coronal**, que divide al cerebro en anterior y posterior, y **Corte sagital** que divide al cerebro en izquierdo y derecho (Figura 3).

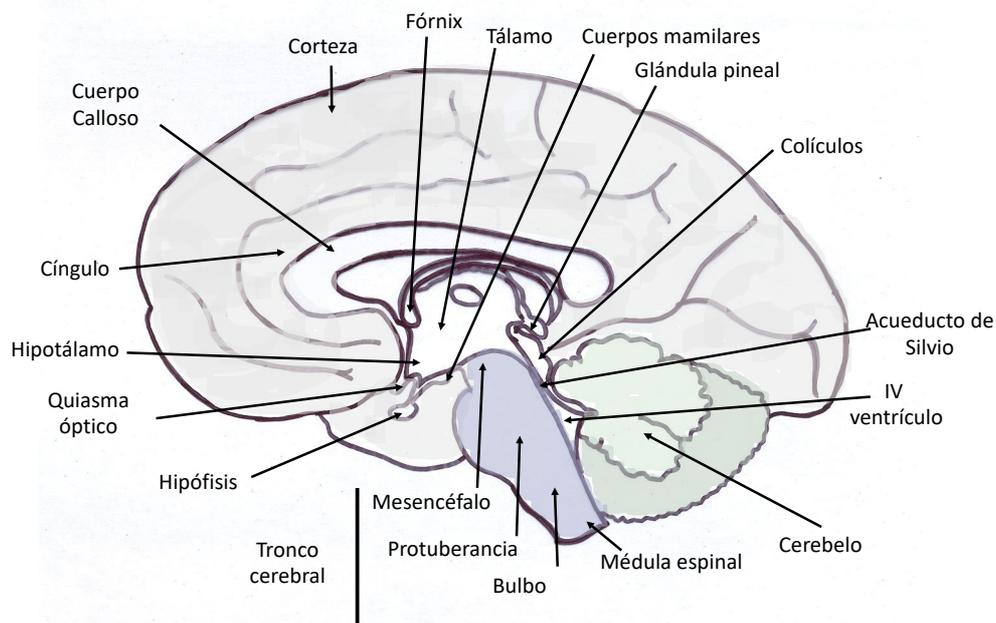


Figura 3. Representación de un corte sagital medial de un cerebro humano. Imagen de los autores.

### Las Meninges

Todo el SN (encéfalo, médula espinal, nervios y ganglios autónomos) está protegido por tejido conjuntivo resistente. Este tejido se llama meninge. En el SNC Las meninges tienen tres capas. La capa exterior es gruesa y dura, su nombre es ***duramadre***. La capa ***aracnoides*** es suave y esponjosa y está situada bajo la duramadre. Estrechamente unida al encéfalo y a la médula espinal y siguiendo cada circunvolución, se encuentra la ***piamadre***. Dentro de esta capa se encuentran los vasos sanguíneos más pequeños de la superficie del encéfalo. Entre la piamadre y la aracnoides hay un espacio llamado espacio subaracnoideo. Este espacio está lleno de líquido cefalorraquídeo (LCR) por donde discurren grandes vasos sanguíneos.

### Sistema ventricular y producción de LCR

El encéfalo es un órgano muy blando y delicado. El peso considerable de un encéfalo humano ( $\pm 1.500$  g), junto con su delicada construcción, necesita que sea protegido de posibles traumatismos. El encéfalo no puede ni siquiera soportar su propio peso; es extremadamente difícil sacar y manejar un encéfalo fresco de un ser humano sin lesionarlo. Afortunadamente, el encéfalo dentro del cráneo se encuentra bien protegido. Flota en un baño de LCR contenido dentro de las meninges. Como se encuentra completamente inmerso en líquido, su peso neto se reduce considerablemente, y por lo tanto disminuye bastante la presión sobre la base del encéfalo. El LCR que rodea al encéfalo y la médula espinal también reduce al SNC del choque que sería producido por el brusco movimiento de la cabeza.

El encéfalo contiene una serie de cámaras huecas interconectadas llenas de LCR. Estas cámaras están conectadas con el espacio subaracnoideo por medio de pequeños orificios (forámenes), y

también por el estrecho canal central de la médula espinal (canal ependimario o epéndimo). La cámara más grande son los **ventrículos laterales**, con su cuerpo anterior, posterior e inferior. Hay 2 ventrículos laterales, uno en cada hemisferio cerebral. Los ventrículos laterales están conectados, a través del orificio de Monro (o interventricular), con el **tercer ventrículo**. El tercer ventrículo se localiza en la línea media del encéfalo; esta es una estructura única, y sus paredes dividen la región local del encéfalo en mitades simétricas. Un puente de tejido neural (masa intertalámica) cruza a través de la porción media del tercer ventrículo. El acueducto cerebral o *acueducto de Silvio*, conecta el tercer ventrículo con el **cuarto ventrículo**, el cual, en su extremo caudal, conecta con el canal central de la médula espinal (epéndimo).

El LCR es producido por el plexo coroideo de los ventrículos laterales, y fluye a través del agujero interventricular (de Monro) dentro del tercer ventrículo. Se produce una cantidad adicional en este ventrículo y después fluye a través del acueducto de Silvio hacia el cuarto ventrículo, donde se produce todavía más LCR. Sale del cuarto ventrículo a través de los forámenes de Magendie y de Luschka (localizados medial y lateralmente respectivamente) y se reúne en el espacio subaracnoideo que rodea el encéfalo. Todo el LCR fluye entonces dentro del espacio subaracnoideo alrededor del SNC donde se reabsorbe hacia la irrigación sanguínea por medio de las granulaciones aracnoideas. Las granulaciones aracnoideas hacen prominencia dentro del seno sagital superior, que posteriormente drena dentro de las venas que evacuan la sangre del encéfalo.

Entre las funciones de las meninges y del LCR se pueden citar: la protección contra golpes o movimientos bruscos de la cabeza. También disminuyen el peso del cerebro, permiten mantener una temperatura más estable, es válido para el transporte químico, expulsan a la sangre algunos productos del metabolismo y también ayudan al sistema inmune en su tarea protectora.

El LCR está formado por agua, pequeñas porciones de proteínas, gases en solución ( $O_2$  y  $CO_2$ ), sodio, potasio, calcio, iones cloro, magnesio, glucosa, leucocitos (la mayoría linfocitos y algunos monocitos) y muchos otros componentes orgánicos.

### Vascularización

El encéfalo recibe constantemente aproximadamente el 20% del flujo sanguíneo cardiaco. El encéfalo apenas tiene reserva metabólica y obtiene su energía de la glucosa, lo que requiere un gran aporte sanguíneo. El cerebro utiliza alrededor de 1/5 de las calorías obtenidas de la dieta. Otras partes del cuerpo reciben cantidades variables de sangre, según las necesidades, pero el encéfalo no puede almacenar combustible ni extraer energía sin  $O_2$ , como hacen los músculos. La interrupción de la irrigación sanguínea en el cerebro durante unos segundos consume una gran cantidad de oxígeno disuelto; una pausa de pocos segundos podría provocar una pérdida de consciencia, en pocos minutos podría producirse un daño celular permanente.

La circulación sanguínea corporal se dirige desde las arterias a las arteriolas y a los capilares. A su vez, los capilares drenan en las vénulas, que confluyen para formar venas, las cuales

devuelven la sangre al corazón, donde comienza nuevamente el proceso. Dos conjuntos principales de arterias irrigan al cerebro: las arterias vertebrales, que irrigan la porción caudal del encéfalo, y las arterias carótidas internas, que irrigan las porciones media y anterior. Normalmente hay poca mezcla de sangre de las arterias rostrales y caudales, o, en el caso de la irrigación rostral, de la irrigación de los lados izquierdo y derecho del cerebro. Sin embargo, si un vaso sanguíneo se obtura, el flujo sanguíneo puede seguir rutas alternas reduciendo la probabilidad de pérdida de suministro sanguíneo y consiguiente destrucción del tejido encefálico. A este fenómeno se le denomina anastomosis o vías anastomóticas.

El drenaje venoso del encéfalo se lleva a cabo por grandes venas y como en el caso de las arterias principales están interconectadas de modo que la sangre pueda fluir en cualquier dirección dependiendo de la presión intracerebral local.

## **Tema 2. Medula espinal. Vías sensitivas y motoras. Tallo cerebral. Cerebelo. Implicación conductual**

### **La médula espinal - Aspecto externo general**

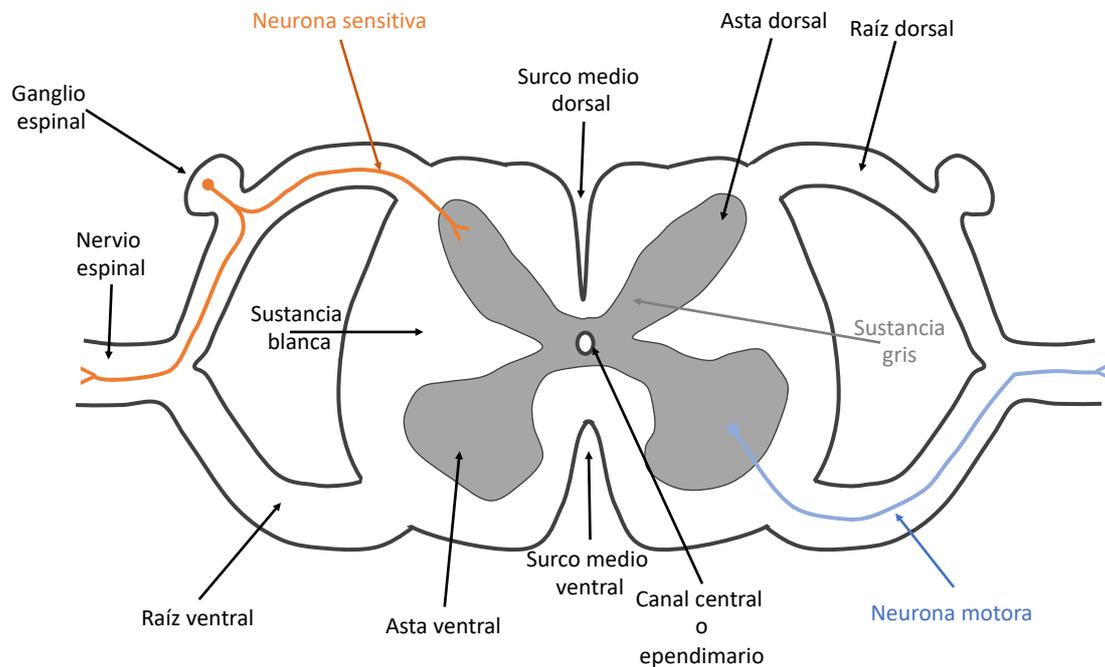
La médula espinal es una estructura larga y cilíndrica, ligeramente aplanada en sentido antero-posterior. Su anchura no es constante, tiene 2 zonas más anchas. En la parte superior está el ensanchamiento cervical (a la altura de las cervicales) y en la parte inferior el ensanchamiento lumbar (a la altura de las vértebras lumbares). Ambos ensanchamientos corresponden a las entradas y salidas de las raíces nerviosas destinadas a los miembros superiores (cervical) e inferiores (lumbar). En la parte superior la médula se continúa con el bulbo raquídeo. En su parte más caudal se encuentra el cono terminal rodeado por los nervios medulares lumbosacros de la "cola de caballo".

La médula se encuentra dentro de la columna vertebral y es más corta que ésta. En personas adultas la longitud total de la médula espinal llega hasta la primera vértebra lumbar. La medula se divide en segmentos medulares, en función de los nervios que entran o salen simétricamente a ambos lados, por los agujeros intervertebrales. En total hay 31 segmentos medulares con sus respectivos pares de nervios, estos son: 8 pares cervicales; 12 pares torácicos; 5 pares lumbares; 5 pares sacros y 1 par coxígeo. Estos nombres son tomados de los respectivos segmentos vertebrales. La médula se encuentra revestida por las meninges e inmersa en líquido cefalorraquídeo.

En un corte horizontal, la médula se halla dividida en dos mitades simétricas, derecha e izquierda, por los surcos "medioventral" y "mediodorsal". Cada mitad se subdivide a su vez por la salida de las raíces medulares ventrolateral y dorsolateral, en los cordones anterior, lateral y posterior.

Además, la sección horizontal de la médula espinal nos permite apreciar la sustancia gris (zona central) y la sustancia blanca (zona periférica). Aproximadamente en el centro de la medula

espinal encontramos un canal que recibe el nombre de “epéndimo” o “canal endimario” (Figura 4).



**Figura 4.** Representación de un corte horizontal de la médula espinal. Imagen de los autores.

### La sustancia blanca

En ella es posible distinguir tres cordones: anterior, lateral y posterior. Los cordones anterior y lateral a veces no están claramente separados y se engloban en uno sólo, el cordón antero-lateral. Está formada por las prolongaciones dendríticas y axonales de las neuronas que forman fascículos ascendentes, descendentes y de asociación. A través de estas neuronas se realiza la interconexión entre diferentes segmentos medulares y transitan los fascículos que enlazan la periferia y los centros nerviosos superiores, unos portadores de los impulsos sensitivos ascendentes y otros de los motores descendentes.

Por otra parte, a ambos lados de la médula espinal y un poco dorsalmente hay dos ganglios. Dentro de estos ganglios se encuentran los cuerpos neuronales de las neuronas pseudo-unipolares sensoriales. Estas neuronas tienen una única neurita muy corta que se bifurca en 2 neuritas. Tiene una neurita muy larga que llega desde los receptores periféricos. La otra neurita ubicada en los ganglios dorsales entra por la parte latero-dorsal hasta la médula espinal.

### La sustancia gris

La sustancia gris es central. Tiene la forma de una H con las astas anteriores engrosadas y las astas posteriores afiladas. Está constituida por masas de cuerpos neuronales. Se conoce

bastante bien cómo se reparten en su interior las diferentes neuronas sensitivas y motoras, lo que en esquema podemos explicar así:

En el **asta posterior**:

- **Cabeza:** Neuronas que transportan la sensibilidad exteroceptiva o cutánea (tacto, temperatura y dolor) desde la piel.
- **Cuello:** Neuronas que transportan la sensibilidad propioceptiva desde los huesos, las articulaciones y los músculos.
- **Base:** Neuronas que transportan la sensibilidad interoceptiva desde las vísceras.

En el **asta anterior**:

- **Cabeza:** Neuronas que transportan el movimiento voluntario a los músculos esqueléticos.
- **Base:** Neuronas que transportan el movimiento involuntario a la musculatura lisa y cardíaca y a algunas glándulas.

## El reflejo

Nuestra conducta, a través del movimiento, está controlada por el cerebro, pero la médula espinal interviene en ciertos movimientos o respuestas rápidas de forma autónoma (los **reflejos**). El **arco reflejo** es la unidad básica de la actividad nerviosa integrada, y consta de: (a) un órgano receptor que a su vez es una neurona aferente, (b) una o más sinapsis integradoras del SNC (interneuronas), (c) una neurona eferente (motora), y (d) un órgano efector (el músculo).

Tradicionalmente se distinguen dos tipos de reflejos, aquellos en los que interviene una sola sinapsis: reflejos monosinápticos; y aquellos en los que interviene más de una sinapsis: reflejos polisinápticos. Se conoce un único reflejo espinal en el que intervenga una sola sinapsis, y es el **reflejo monosináptico de estiramiento**, también denominado reflejo de distensión o miotático. En este caso, los impulsos aferentes se dirigen desde los receptores (huso muscular) a los botones terminales de la sustancia gris de la médula espinal, y estos botones terminales sinaptan con la motoneurona alfa que inerva la fibra muscular extrafusar del mismo músculo. Pero el mismo estímulo sensorial aferente causa también la inhibición de las motoneuronas del músculo antagonista. De esta forma, incluso el reflejo más simple implica la coordinación de neuronas motoras que controlan músculos agonistas y antagonistas.

La mayoría de reflejos medulares están mediados por circuitos polisinápticos, como el reflejo que tiene lugar como **respuesta al dolor**. En estos reflejos toman parte varios músculos del mismo miembro, pero también se involucran simultáneamente otros músculos del miembro opuesto, en un intento de mantener la postura y el equilibrio eficazmente. Para este cometido

hace falta el trabajo conjunto de varios segmentos medulares interconectados, lo cual lleva a un incremento del número de neuronas y conexiones implicadas.

### La médula espinal como lugar de tránsito

Además de la capacidad de ejecución de reflejos, la medula espinal ayuda en la conexión de información bidireccional entre la periferia y el encéfalo. Las aferencias somato-sensoriales llegan a la corteza cerebral pasando por la medula espinal a través de grupos de axones o haces (tractos, fascículos) sensoriales. Así mismo, el movimiento voluntario tendrá su origen en la corteza cerebral y sus órdenes pasaran por la medula espinal a través de haces motores descendentes para el posterior control de los músculos implicados.

### Vías ascendentes o sensitivas

La información procedente de los receptores cutáneos viaja por los nervios espinales hasta la medula espinal. En la médula hay 2 sistemas que se encargan de llevar información somestésica diferente. El **sistema espinotalámico** y el **dorsal-lemniscal**. En el sistema espinotalámico (o también denominado **sistema protopático**) la 1ª neurona es el propio receptor periférico (su núcleo está ubicado en el ganglio dorsal), entra por las raíces dorsales y conecta en la raíz dorsal con una 2ª neurona. El axón de esta 2ª neurona pasa al lado contrario y asciende por la parte anterior (**haz espinotalámico anterior**) o lateral (**haz espinotalámico lateral**) de la medula espinal llegando al núcleo ventral posterior lateral del tálamo (**NVPL tálamo**). Allí hace sinapsis con una 3ª neurona, ésta envía su axón hasta la **corteza somestésica primaria**. El haz espinotalámico anterior transmite información sensible poco fina, es decir: receptores que responden ante un mayor umbral de activación y con menor resolución espacial. Por otro lado, el haz espinotalámico lateral transmite información de sensibilidad térmica y algésica.

El **sistema dorsal lemniscal** o **epicritico** lleva información sensible fina, esto es: capta estímulos de bajo umbral de activación y gran resolución espacial. También trasmite información propioceptiva (postura, posición, tono muscular...).

La 1ª neurona es el propio receptor periférico, entra por las raíces dorsales y asciende por la parte dorsal de la médula formando el **haz delgado o gracilis** (segmentos sacros, lumbares y torácicos) y el **haz cuneiforme** (segmentos cervicales) hasta conectar en el **núcleo delgado/gracilis** o **cuneiforme** respectivamente, en la parte dorsal del bulbo raquídeo, con una 2ª neurona. El axón de esta 2ª neurona pasa al lado contrario y asciende por la parte media del tronco-encefálico, formando el **lemnisco medial** y llegando al núcleo ventral posterior lateral del tálamo (**NVPL tálamo**). Allí hace sinapsis con una 3ª neurona, ésta envía su axón hasta la **corteza somestésica primaria**.

Por otra parte, las vías de la sensibilidad interoceptiva o visceral son todavía poco conocidas, aunque parece ser que se transmiten a través de la sustancia gris de la médula.

## Vías descendentes o motoras

En la corteza motora primaria se encuentran las neuronas que controlan el movimiento voluntario. A través del control cerebral, el movimiento puede ser planificado de acuerdo a nuestros objetivos y puede ser modulado en función de las características ambientales, adquiriendo así un valor adaptativo del que carece el control medular.

En la circunvolución precentral (corteza motora primaria) podemos encontrar una representación somatotópica de nuestro cuerpo, la activación de estas neuronas provoca el movimiento de determinadas zonas corporales. Aunque es la *corteza motora primaria* quien finalmente ejecuta la orden que provocará el movimiento, esta área cerebral recibe previamente información de la *corteza premotora* (ubicada delante de la corteza motora) que es la que programa los movimientos y ordena su ejecución a la corteza motora. Las vías a través de las cuales las neuronas de la corteza motora primaria controlan el movimiento, pueden ser divididas en dos grandes bloques: las vías que descienden directamente desde la corteza cerebral (**vía piramidal**), y las vías que descienden desde el tronco cerebral (**vía extrapiramidal**). La neurona de primer orden, que se localiza en la corteza cerebral, envía información a la neurona de segundo orden o interneurona, que se encuentra en el asta ventral de la médula, y finalmente esta envía información a la neurona de tercer orden o motoneurona, que alcanza la unión neuromuscular (Tabla 1). Esta organización es válida para la mayoría de las vías descendentes, no sólo para las que se originan en la corteza.

Vías descendientes motoras		
Vía Piramidal	Tracto Corticoespinal	Anterior (directo)
		Lateral (cruzado)
	Tracto Cortikobulbar	
Vía Extrapiramidal	Tracto Rubroespinal	
	Tracto Reticuloespinal	Pontino (medial)
		Bulbar (lateral)
	Tracto Vestibuloespinal	
	Tracto Tectoespinal	

**Tabla 1.** Vías ascendentes motoras. Tabla de los autores.

## Vía piramidal

Este sistema interviene fundamentalmente en el control de los movimientos voluntarios. Las vías motoras somáticas originadas en la corteza son los tractos corticoespinales (lateral y ventral); estos tractos son vías directas corteza-médula (no hacen relevo en ningún lugar del tronco).

- a) **Tracto Corticoespinal Lateral.** Estas fibras descienden desde la corteza frontal y parietal a través del diencefalo, mesencefalo, protuberancia (aquí se separan), bulbo raquídeo (aquí se reagrupan formando las pirámides), y decusan antes de alcanzar la médula espinal contralateral. Estas fibras permiten el inicio voluntario del movimiento de las extremidades (antebrazos, parte inferior de las piernas, manos y pies), y el control de movimientos finos, precisos y voluntarios de los músculos de los dedos, para la manipulación de objetos.
- b) **Tracto Corticoespinal Ventral:** Con el mismo origen y recorrido que el tracto corticoespinal lateral, las fibras del tracto corticoespinal ventral no se cruzan en la decusación de las pirámides. Además, sus axones establecen sinapsis bilaterales en la médula espinal, de modo que forman una vía ipsilateral y otra contralateral. Estas fibras controlan la musculatura del cuello, del tronco y de los músculos próximos a las extremidades, interviniendo así en el control postural, junto con las vías originadas en el tronco.

## Vía extrapiramidal

Este sistema controla principalmente la actividad postural estática. Sus fibras descienden del encéfalo a la médula emitiendo colaterales que inervan a neuronas de núcleos y órganos como el cerebelo, los ganglios basales, la formación reticular, el núcleo rojo, los colículos y el tálamo. Es, por lo tanto, una ruta indirecta.

- a) **Tracto Tectoespinal.** Desde los colículos superiores, situados en el techo del mesencefalo, las fibras descienden hasta alcanzar la médula espinal, permitiendo la coordinación de los movimientos de orientación de la cabeza ante estímulos visuales.
- b) **Tracto Rubroespinal.** Las fibras descienden desde el núcleo rojo, situado en el tegmento del mesencefalo, y alcanzan finalmente la médula a través del tracto rubroespinal. A través de estas fibras se realiza el control de movimientos independientes de las extremidades, como los del hombro, los codos o las manos (no el de los dedos). Es un sistema que se relaciona con el control del tono en los grupos musculares flexores.
- c) **Tractos Vestibuloespinales.** Desde el oído interno y el cerebelo, las fibras descienden hasta los núcleos vestibulares, situados en el bulbo y en la protuberancia, y alcanzan finalmente el asta ventral de la médula. Estas fibras permiten el control de la posición erguida y el mantenimiento de la cabeza en la vertical del cuerpo. Es un sistema que se ha relacionado con la facilitación del tono muscular extensor.

- d) **Tractos Reticuloespinales.** Desde la corteza motora, las fibras descienden hasta la formación reticular (tracto reticuloespinal). A través de estas fibras se realiza el control postural, tanto manteniendo la postura erguida del cuerpo contra la gravedad, como preparando al cuerpo para el movimiento.

Por último, las fibras motoras viscerales son vías poco definidas. Se originan en la amígdala, el hipotálamo y formación reticular y descienden junto con fibras reticuloespinales decusando en la línea media del tronco, hasta alcanzar las neuronas motoras viscerales de las astas laterales y zona intermedia de la médula espinal.

### El tronco cerebral

Constituye una zona de transición entre el cerebro y la médula espinal. Está formado por el bulbo raquídeo o mielencéfalo (en la zona inferior), protuberancia o puente de Varolio, que con el cerebelo forma el metencéfalo (en la zona media), y el mesencéfalo (en la zona superior).

En el tronco encefálico se encuentran todos los fascículos ascendentes y descendentes que corresponden a los descritos al hablar de la médula espinal, pero existen además núcleos y nervios de origen tronco encefálico.

En lo que corresponde a la sustancia gris, carece ésta de zona periependimaria (excepto una pequeña zona gris periacueductal en el mesencéfalo, donde el orificio corresponde al acueducto cerebral).

### El bulbo raquídeo

Tiene forma de cono truncado, cuya base más estrecha se prolonga con la médula espinal. En la zona ventral se observan las pirámides bulbares que corresponden a los haces corticoespinales. En la parte inferior de las pirámides la mayoría de las fibras corticoespinales se decusan y se inclinan hacia atrás y constituyen los haces corticoespinales laterales (el  $15\% \pm$  de las fibras continúan y constituyen los haces piramidales directos). A ambos lados de las pirámides bulbares surgen dos núcleos grises, las olivas.

En la parte dorsal del bulbo raquídeo se produce la decusación de las fibras del sistema dorsal lemniscal o epicrítico ascendentes y ascienden rostralmente hacia el tálamo.

De los 12 pares de nervios craneales, en el bulbo raquídeo tienen su origen 6 de ellos: VII nervio facial, VIII vestibulococlear o estetoacústico, IX glossofaríngeo, X vago o neumogástrico, XI accesorio espinal y XII hipogloso.

### Protuberancia o puente de varolio

Se encuentra situada entre el mesencéfalo y el bulbo raquídeo y por delante del cerebelo. En la parte anterior la protuberancia es abultada. La zona posterior lateral da origen a los pedúnculos

cerebelares (unen el cerebelo con la protuberancia). La parte posterior media junto con el cerebelo, forman el IV ventrículo cerebral.

La protuberancia está formada por fibras de paso ascendente y descendente. También lo forman sus propios núcleos, entre éstos caben destacar los núcleos vestibulares o el núcleo del V nervio craneal, el trigémino.

### Mesencéfalo

Está situado entre el cerebro y la protuberancia. Consta de tres componentes principales: Base de los pedúnculos, tegmento y tectum (Figura 3).

**Base de los pedúnculos.** Este grupo de estructuras se localiza en la porción ventral del mesencéfalo. Comprende los pedúnculos cerebrales (que conectan la corteza motora con la médula) y un macizo de neuronas conocido como "sustancia negra", cuya lesión está implicada en la enfermedad de Parkinson.

**Tegmento.** En la línea media del mesencéfalo se encuentra el acueducto cerebral que comunica el III y IV ventrículo. Alrededor de la sustancia gris periacueductal se encuentran los pares craneales implicados en el movimiento ocular (III oculomotor y IV patético o troclear). Gran parte del tegmento lo forman dos núcleos importantes para el control motor, el *núcleo rojo* y la *sustancia negra*.

**Tectum.** Contiene cuatro macizos de células, dos de las cuales forman los colículos (o tubérculos cuadrigéminos) superiores (implicados en la coordinación del movimiento ocular) y los otros dos forman los colículos inferiores (coordinación entre el movimiento y los sonidos percibidos). Ambos participan en el sistema de reflejos que produce la orientación de la cabeza y los ojos a fuentes de estímulos visuales y auditivos.

### La formación reticular

Es una red neuronal que se extiende de forma continua, a lo largo del tronco cerebral y las regiones basales del diencefalo y el telencefalo. No es fácil precisar los límites anatómicos de la formación reticular, debido a que las neuronas que la constituyen están agrupadas en numerosos núcleos pequeños (*núcleos del rafe*, serotoninérgicos y del *locus coeruleus*, noradrenérgicos) y las fibras junto con los núcleos le dan un aspecto de red. El papel funcional del sistema reticular del tronco cerebral es fundamentalmente **integradora**, debido a que es una región donde convergen e interactúan los impulsos de todas las modalidades sensoriales, así como fuentes cerebrales y cerebelares. Esta región es capaz de modificar la actividad neuronal de dichas fuentes de estímulos y de suprimir o amplificar la excitabilidad de muchas neuronas. Por otra parte, puede facilitar, inhibir o modificar la transmisión de información neural aun a través de vías específicas. Interviene en toda la escala de expresiones conductuales, desde el **estado de alerta** y la concentración mental, hasta la aparente pasividad del **sueño**. El **estado de**

**coma** permanente que sigue a una lesión encefálica puede ser debido a un daño en la formación reticular.

### **Funciones del tronco del encéfalo**

1- Es lugar de paso de grandes vías ascendentes (sistema dorsal-lemniscal y espinotalámico) y descendentes (corticoespinales).

2- Al estar conectado al cerebelo participa de las funciones de éste en su coordinación motora.

3- Es el lugar de origen de los nervios que se van a distribuir por la cabeza y que por ello se denominan nervios o pares craneales. Los núcleos y sus nervios participan en el control de funciones vitales como: la respiración, la función cardiovascular, presión arterial, la función gastrointestinal, los movimientos oculares, la mímica facial, la masticación y deglución, controla el sostén del cuerpo en su lucha contra la gravedad y los movimientos estereotipados del cuerpo.

4- Participa en los diferentes estados de activación, desde el sueño hasta los diferentes estados durante la vigilia (estado de alerta, concentración...) gracias a la formación reticular.

### **El cerebelo**

El cerebelo se encuentra en la parte dorsal del troco encefálico. Se conecta al troncoencefálico y a otras zonas del SN a través de los pedúnculos cerebelosos. Hay tres pedúnculos cerebelosos a cada lado (superior, medio e inferior). La zona interior que queda entre los pedúnculos cerebelosos y el troncoencefálico forma el IV ventrículo cerebral (Figura 3).

La parte externa del cerebelo presenta muchos surcos, se estima que se observa aproximadamente un 15% de la masa cortical y que el 85% de su masa queda oculta bajo los surcos. La zona cortical al igual que la corteza cerebral está compuesta de sustancia gris. Bajo ésta se encuentra la sustancia blanca y en su profundidad los núcleos del cerebelo (fastigiado, globoso, emboliforme y dentado).

El cerebelo está muy conectado y recibe multitud de aferencias desde muchas zonas cerebrales. Las principales aferencias son de la corteza motora, ganglios basales, sistema vestibular, núcleos del troncoencefálico, y de la medula espinal.

Las principales eferencias del cerebelo van hacia el tálamo y de ahí a la corteza motora y a los ganglios basales, también envía información a los núcleos del troncoencefálico.

La principal función del cerebelo es la coordinación motora. Por una parte, capta el "sentido muscular" (propiocepción) lo cual nos permite conocer sin auxilio de la vista la posición de las distintas partes del cuerpo. Ayuda a predecir las posiciones futuras de todas las partes móviles del organismo, una vez iniciado el movimiento. Ejerce una acción amortiguadora, suavizante, de

los movimientos provocados por las contracciones musculares. Participa en la iniciación, parada o frenado de movimientos y el paso de un movimiento a otro en sucesión ordenada.

En resumen: Es un contraregulador de la actividad motora basado en la información que le llega de la periferia, logrando la exactitud de los movimientos por comparación entre las intenciones de la corteza y la actuación motora de las distintas partes corporales. En caso de error, efectúa los ajustes necesarios para corregirlo. El cerebro da la orden general motora y el cerebelo se encarga de los detalles finos del movimiento.

Su influencia abarca todos los dominios de la motricidad: tono muscular, estática, equilibrio, postura, movimientos aprendidos y recientemente también se ha sugerido su intervención en procesos de aprendizaje y memoria.

### Tema 3. Diencefalo. Epitálamo, subtálamo, tálamo e hipotálamo. Conexiones funcionales y consideraciones conductuales

El diencefalo se localiza bajo los hemisferios cerebrales, más o menos en la mitad del encéfalo (alrededor del tercer ventrículo) y encima del tronco-encefálico. Consta de 4 estructuras: Epitálamo, subtálamo, tálamo e hipotálamo.

El **epitálamo** se localiza en la zona superior del diencefalo, dorsomedialmente respecto al tálamo. La zona principal epitalámica está constituida por la **epífisis** o **glándula pineal**, la cual genera la hormona melatonina que será estudiada más adelante en el apartado correspondiente a la endocrinología (Figura 3).

El **subtálamo** se encuentra bajo el tálamo, sobre el mesencéfalo y detrás del hipotálamo, está relacionado con el sistema motor extrapiramidal (su lesión ocasiona un patrón motor que se caracteriza por movimientos involuntarios rápidos, o sacudidas desordenadas).

El **tálamo** se localiza sobre el subtálamo y el hipotálamo (Figuras 3 y 5). Es la estructura diencefálica más grande. Consta de dos lóbulos, uno a cada lado, que se conectan entre sí mediante un haz de axones (llamado masa intermedia o adherencia intertalámica) que atraviesa la porción media del tercer ventrículo. Consta de numerosos núcleos. Es un centro fundamental de coordinación sensorial. Recibe información directa de todos los sentidos (a excepción de la olfatoria) y a través de él, esta información sensorial llega a la corteza cerebral.

El **Hipotálamo** consta de un gran número de núcleos y se localiza en la base del cerebro, delante y por debajo del tálamo, y a ambos lados de la porción inferior del tercer ventrículo (Figura 3). Recibe información visceral desde la médula y el tronco del encéfalo, así como desde el sistema endocrino a través del torrente sanguíneo, informando así del estado interno del organismo.

Las principales vías eferentes del hipotálamo se dirigen a la hipófisis (controla así el sistema endocrino), al tronco del encéfalo y a la médula (controla así el sistema nervioso autónomo). A través de estas eferencias interviene en el mantenimiento de la homeostasis del organismo

(control de la temperatura corporal, control hídrico y sed, control calórico y hambre, ritmos biológicos...). Se puede decir que es un centro fundamental en la coordinación de los sistemas efectores y que está implicado en los procesos emocionales y motivacionales.

## Tema 4. La región subcortical. Ganglios basales. El cuerpo caloso, el fórnix y las comisuras blancas. El sistema límbico. Consideraciones conductuales.

El telencéfalo, junto con el diencefalo, forma parte del prosencéfalo. El telencéfalo está formado por los hemisferios cerebrales. La zona externa es amplia y está formada por la corteza cerebral (córtex). Bajo esta corteza se encuentra el subcórte, formada por la sustancia blanca y los núcleos subcorticales.

### El subcórte

Parte del subcórte está ocupado por los ventrículos laterales y alrededor de éstos se encuentran los núcleos subcorticales (núcleo caudado, putamen, globo pálido, amígdala y claustr). Entre los ventrículos laterales y los núcleos subcorticales se encuentra la sustancia blanca subcortical.

### Sustancia blanca: conexiones

La sustancia blanca comprende fibras que van a formar vías nerviosas ascendentes y descendentes que conectan la corteza cerebral con el tronco del encéfalo y la médula espinal (fibras de proyección). También conexiones que conectan diferentes áreas del córtex del mismo lado (intrahemisféricas) y entre ambos lados (interhemisféricas):

a) **Fibras de proyección:** La sustancia blanca forma la “**corona radial**”. Bajo el córtex, en su parte superior, es amplia y se estrecha entre los diferentes núcleos subcorticales formando la capsula interna.

**Cápsula interna:** Está formada por las fibras de proyección que unen el córtex con el tronco cerebral y la médula espinal, tanto en dirección ascendente como descendente. Se localiza entre el cuerpo caudado y el tálamo (ubicados medialmente) y el putamen y el globo pálido (ubicados lateralmente).

b) **Conexiones intrahemisféricas:** Son las conexiones que unen diferentes zonas cerebrales de un mismo hemisferio.

**Cápsula extrema y cápsula externa:** Se localizan en la parte externa (capsula extrema) e interna (capsula externa) del **claustr**. Están formadas sólo por fibras de asociación intrahemisférica.

c) **Comisuras interhemisféricas:** Son fibras que unen un hemisferio con otro, formadas por:

1- El **cuerpo caloso**: Aparece como una lámina cóncava que arranca por delante desde la comisura blanca anterior, presenta en la parte superior un primer engrosamiento (rodilla) y después, en su parte posterior otro engrosamiento (esplenio).

2- El **fórnix** (o trígono): se localiza bajo la concavidad del cuerpo caloso y separado de él por una lámina sagital denominada "septo pelucido". Por delante se bifurca en dos pilares anteriores que conectan con los núcleos mamilares. Por detrás, las dos partes posteriores se separan para conectar con el hipocampo (en la cara interna del polo temporal de cada hemisferio).

3- La **comisura blanca anterior** son fibras que conectan los dos polos temporales.

### **Núcleos subcorticales: los ganglios basales**

Los ganglios basales están formados por el cuerpo estriado (lo forman: El **núcleo caudado**, **putamen** y **globo pálido**) junto con el subtálamo (diencefalo) y la sustancia negra (mesencefalo) (Figura 5).

El núcleo caudado es el núcleo más externo, tiene forma de herradura (su superficie convexa forma las paredes del ventrículo lateral) y rodea al putamen. Por otra parte, el globo pálido queda entre el putamen (más exterior) y el tálamo (más medial).

Las principales aferencias a los ganglios basales son desde el tálamo y la corteza cerebral (sensorial y sobre todo corteza motora). Las principales eferencias son al tálamo (y del tálamo la mayoría a la corteza motora), al hipotálamo, al subtálamo y la sustancia negra.

Los ganglios basales ayudan a la corteza motora en el correcto funcionamiento motor. Planifican y controlan los movimientos automáticos que acompañan al movimiento motor voluntario.

La evidencia clínica nos muestra que el daño neurológico en estos núcleos está relacionado con ciertas patologías como la enfermedad de Parkinson o de Huntington. Patologías relacionadas con problemas psicomotores, como acinesias, discinesias, temblor muscular, hipertonía, sacudidas musculares, pérdida del control motor voluntario e involuntario. Por otra parte, parece ser que los ganglios basales también desempeñan un papel en los procesos de atención, aprendizaje, memoria y en la conducta emocional.

### **El sistema límbico**

Anatómicamente, el sistema límbico se presenta como un anillo en la cara interna de cada hemisferio cerebral. Está formado por diferentes estructuras o núcleos telencefálicos y diencefálicos interconectados. Lo forman: El cíngulo, el área hipocampal (hipocampo y circunvolución del hipocampo), la corteza entorrinal, la amígdala, el septo, el núcleo accumbens, el hipotálamo y el tálamo anterior.

El **cíngulo** se encuentra en la parte medial de los hemisferios cerebrales, alrededor del cuerpo calloso.

El **hipocampo** se encuentra en el interior de los lóbulos temporales. Un extremo del hipocampo es inmediatamente vecino de la amígdala y también se fusiona en uno de sus bordes con la circunvolución del hipocampo, que es la corteza de la superficie medial del lóbulo temporal. La lesión del hipocampo puede dejar al paciente con una grave alteración de la memoria. Estos pacientes no pueden recordar episodios e información reciente, en pocos minutos esta nueva información desaparece, desarrollan una amnesia anterógrada (Figura 5).

El **uncus** y toda la parte vecina de la quinta circunvolución temporal constituyen el **área entorrinal**.

La **amígdala** es un complejo de núcleos grises localizados en el interior de cada polo de los lóbulos temporales contiguo al hipocampo. Su lesión afecta la conducta y la reacción emocional. Ante elementos potencialmente peligrosos no se muestra miedo, ni conductas de evitación o huida.

El **septo** (o área septal) son un conjunto de núcleos ubicados en el lóbulo frontal bajo el cuerpo calloso.

El **núcleo accumbens** se encuentra en la zona ventral del cuerpo estriado.

El hipotálamo (**núcleos mamilares**) y el **tálamo anterior** forman también parte del SL y se explicaron en un apartado anterior.

El SL tiene multitud de conexiones y de gran complejidad. Una de las conexiones más importante es la que conecta la corteza entorrinal y el área hipocampal con otras zonas del SL. Desde el hipocampo, sus conexiones llegan mediante el **fórnix** a los núcleos mamilares (hipotálamo) y también al septo. Los núcleos mamilares conectan mediante el **haz mamilotalámico** con el tálamo anterior. Desde el tálamo anterior se proyectan fibras que llegan al cíngulo.

Multitud de estudios atribuyen diferentes funciones al SL, a destacar: aprendizaje y memoria, motivación (conducta alimentaria, sexual, agresiva, adicción...), emociones (ira, miedo, alegría, tristeza...). Funciones todas ellas que acompañan a conductas que desempeñan una labor importantísima en la supervivencia del individuo y su especie.

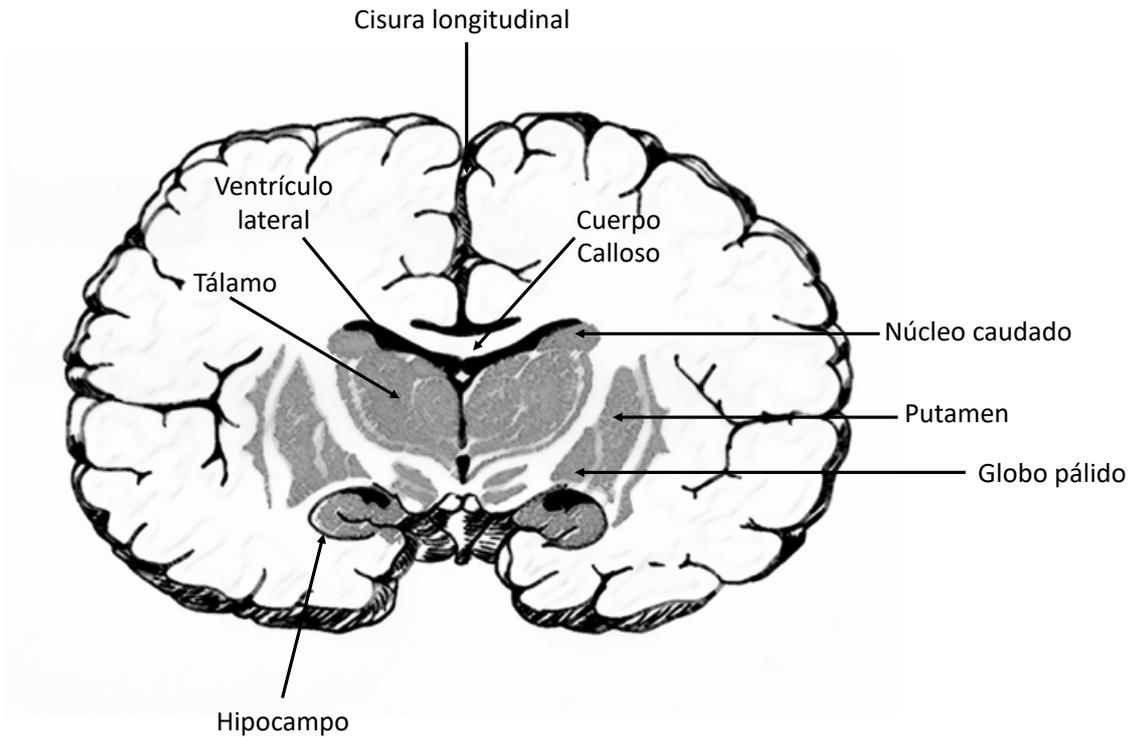


Figura 5. Representación de un corte coronal de un cerebro humano. Imagen de los autores.

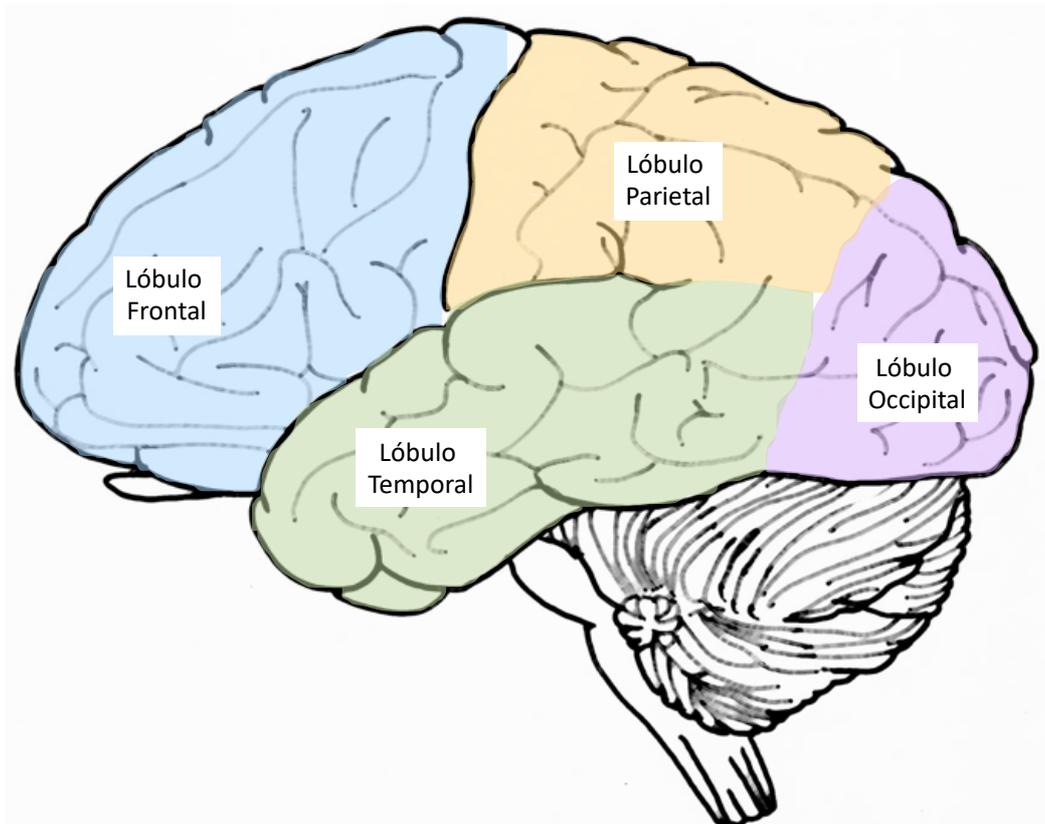
## Tema 5. La corteza. Estudio histológico. Lóbulos cerebrales. Áreas funcionales. Lateralidad y dominancia hemisférica. Conexiones inter e intrahemisféricas. Integraciones superiores

Es el manto celular (sustancia gris), con un grosor de 1.5 a 5 mm, que cubre la parte exterior de los hemisferios cerebrales. Se estima que un tercio de la corteza es visible y que los 2/3 restantes quedan ocultos bajo la gran cantidad de surcos cerebrales. Las partes convexas se denominan circunvoluciones (o giros) y las zonas cóncavas surcos. Desde un punto de vista filogenético es la zona cerebral que ha experimentado un mayor desarrollo y más tardío en la evolución. Desde una perspectiva ontogénica es la zona cerebral que mayor desarrollo sufre y que desarrollamos más tardíamente.

La corteza cerebral está formada por diferentes capas celulares. Dependiendo del número de capas se denomina diferente: Neocorteza, paleocorteza o arquicorteza. La neocorteza supone el 90-95% de la sustancia gris cortical y está formada por 6 capas celulares. La paleocorteza tiene 4-5 capas y la arquicorteza 3-4 capas celulares. El nombre hace alusión al desarrollo filogenético del córtex. La paleocorteza está relacionado con el sistema olfatorio y la arquicorteza con los sistemas de memoria y emoción. Ambas cortezas se denominan allocorteza y son parte del sistema límbico estudiado en un apartado anterior. Las capas de la neocorteza que van del

exterior al interior son: I- molecular, II- granular externa, III- piramidal externa, IV- granular interna, V- piramidal interna y VI- polimórfica.

Ambos hemisferios quedan separados por el surco cerebral longitudinal. Cada uno de los hemisferios está formado por diferentes lóbulos. En su parte exterior, el **lóbulo frontal**, **parietal**, **temporal** y **occipital** (Figura 6). Estos lóbulos están limitados por diferentes surcos o cisuras. El surco central o de Rolando, separa el lóbulo frontal del lóbulo parietal. La cisura lateral o de Silvio, separa al lóbulo temporal de los lóbulos frontal y parietal. El surco parieto-occipital separa el lóbulo parietal y occipital.



**Figura 6.** Representación de la corteza de un cerebro humano. Imagen de los autores.

Existen otros 2 lóbulos que quedan ocultos. El **lóbulo límbico** se encuentra en la zona media del córtex. Tiene forma de anillo y la parte superior se ubica sobre el cuerpo calloso y la parte inferior queda en la zona interior del lóbulo temporal. Oculto en la parte interior de la cisura de Silvio, se encuentra otro lóbulo llamado **ínsula**.

Las funciones cerebrales pueden ser: Sensoriales, motoras y asociativas. Otra forma de clasificar las funciones tiene que ver con la disposición de la corteza cerebral en diferentes áreas: Primarias, secundarias (unimodales) y terciarias o de asociación (polimodales).

Las áreas primarias son las áreas sensoriales y motoras. En el caso de las áreas sensoriales existen tantas como modalidades sensoriales: visión, audición, olfacción, gusto, somestesia (tacto, propiocepción, temperatura, dolor). A estas áreas llega la información a través de relevos sinápticos desde los órganos sensoriales. Son las áreas donde se comienza a ver, oír...

La corteza motora primaria es la zona encargada de ejecutar nuestros movimientos corporales.

Las áreas secundarias (o unimodales) rodean o son contiguas a las áreas primarias. En estas áreas se hace una mayor elaboración de la información sensorial recibida en las áreas primarias. En el caso de la corteza motora su área secundaria está contigua a la primaria y se llama corteza premotora y corteza motora suplementaria. Son áreas que se encargan bien del aprendizaje de patrones motores concretos, o, bien le comunican patrones motores aprendidos al área primaria para su ejecución.

En las áreas terciarias, polimodal o de asociación, confluye información desde las diferentes áreas sensoriales y motoras.

Existen 3 áreas de asociación polimodales:

La **corteza límbica** es parte del sistema límbico que hemos comentado en un apartado anterior.

El área **parieto-temporo-occipital**, para entenderlo pongamos un ejemplo: Cuando escuchamos el nombre “manzana” nuestra mente es capaz de traer a nuestro pensamiento el color, tamaño, forma, olor, textura, sabor de la manzana, su significado en otras lenguas... Esta experiencia se da gracias a que el sonido de un nombre está conectado en nuestra mente a una multitud de experiencias sensoriales aprendidas e interconectadas. Es una zona cerebral importante para el pensamiento y el lenguaje.

En el caso del área **prefrontal**, es la corteza que queda delante de la corteza premotora y motora suplementaria. Es una zona cerebral clave para planificar nuestro futuro (o el de otras personas, animales, bienes materiales...), planificar nuestra conducta, concretar objetivos, ajustarnos y gestionar de modo racional normas sociales...

Veamos las diferentes áreas funcionales de la corteza tomando en consideración los lóbulos.

**a/ Lóbulo frontal:** se encuentra el **área motora primaria**, en la circunvolución precentral. Esta área es la encargada de la ejecución de los movimientos voluntarios. Cada hemisferio controla la mitad contralateral de nuestro cuerpo. El **área premotora** y **motora suplementaria** quedan contiguas y delante del córtex motor primario. Nos ayudan en el aprendizaje de patrones motores concretos y en la ejecución de éstos. Hay un área delante de la corteza motora primaria considerada premotora llamada **área de Broca**. Es un área clave para el lenguaje. Entre otras funciones se encarga de la correcta producción del lenguaje. Aspectos que van desde la correcta producción de patrones motrices (fonética, acentuación, gestión de pausas...), hasta la aplicación correcta de reglas gramaticales para que la comunicación sea

correcta y entendible. Pacientes que han sufrido una lesión en esta área sufren de un síndrome llamado afasia de Broca (o motora). Estas personas tienen problemas en la producción de su lenguaje, no pueden comunicar sus ideas o necesidades de forma fluida. Su habla se convierte en telegráfica y les cuesta mucho acabar una frase.

Delante de las áreas motoras y de Broca queda el área de asociación prefrontal que ya hemos comentado.

**b/ Lóbulo parietal:** se encuentra el **área somatosensorial o somestésica primaria** en la circunvolución postcentral (contigua al área motora primaria). Es el área a la que llega la información desde los receptores de nuestra piel, sistema musculo-esquelético y órganos internos. La experiencia del tacto, experiencia térmica, el dolor, posición del cuerpo, esfuerzo realizado... se hacen conscientes. Contigua a esta área tenemos el **área somestésica secundaria**. Es un área unimodal en la cual las diferentes sub-modalidades somestésicas (tamaño del objeto tocado, forma, textura, temperatura...) se interconectan enriqueciendo así la experiencia sensorial.

Debajo del área somestésica primaria queda el **área gustativa** (también en parte de la ínsula). La experiencia gustativa toma forma en esta zona cerebral.

Detrás de estas áreas tenemos el **área de asociación parietal** (polimodal). La percepción espacial, el movimiento y la posición espacial que ocupan los objetos se hacen posibles gracias a esta área. Es un área donde se interconectan las diferentes áreas unimodales para enriquecer la experiencia sensorial.

**c/ Lóbulo temporal:** se encuentra el **área auditiva primaria**, ubicada en la primera circunvolución temporal (parte queda oculta en la cisura de Silvio). Contigua a ésta se encuentra el **área auditiva secundaria**. Ambas áreas encargadas del procesamiento auditivo. Contigua a éstas, se encuentra el **área de Wernicke**. Realmente queda en el límite entre el lóbulo temporal y parietal y muy cercano al occipital. Al igual que el área de Broca es un área crítica para el lenguaje. Está relacionada con la decodificación de los sonidos y el entendimiento del lenguaje. Los pacientes que sufren una lesión en esta área sufren de afasia de Wernicke (o sensorial), son incapaces de entender el lenguaje que se les comunica y de hablar de forma entendible. En muchos casos su lenguaje se convierte en verborreico.

Debajo del área auditiva y de Wernicke (llega hasta la cara interior del lóbulo temporal) hay un área de asociación visual en la cual se analizan aspectos tan importantes como formas complejas, caras, color...

En la cara interna del lóbulo temporal está el **área olfativa primaria**. La experiencia olfativa toma forma en esta área.

**d/ Lóbulo occipital:** en su polo, tenemos el **área visual primaria**. Alrededor de ésta se encuentra el **área visual secundaria**. En el área primaria comienza la experiencia visual con un

primer análisis y en la secundaria se conectan diferentes sub-modalidades de la experiencia visual y se envía información a áreas de asociación visual en el lóbulo temporal (corriente ventral o del “Que”) y parietal (corriente dorsal o del “Donde”).

## Tema 6. Sistema Nervioso Periférico: Estructura y Divisiones

El sistema nervioso periférico (SNP) se divide en sistema nervioso somático (SNS) y sistema nervioso autónomo (SNA).

### Sistema nervioso autónomo (SNA)

También conocido como sistema nervioso visceral o vegetativo, estimula y controla las estructuras que no están bajo control consciente.

El SNA estimula 3 tipos de tejidos: músculo cardíaco, la mayor parte de las glándulas y todo el músculo liso (que se encuentra en muchos órganos y estructuras). Se divide en 2 partes: el **SN simpático y parasimpático**, los cuales (con 2 o 3 excepciones) inervan los mismos órganos y estructuras; sin embargo, se antagonizan mutuamente. Por ejemplo, la estimulación simpática del corazón produce aumento de la frecuencia cardiaca, mientras que la parasimpática hace más lentos los latidos. La descarga simpática dilata las pupilas, mientras que la parasimpática las constriñe. Ambos sistemas estimulan constantemente las estructuras que inervan, pero se produce un equilibrio entre ellos. Dicho equilibrio puede modificarse en una de las siguientes formas: aumentando el estímulo de una parte del sistema o disminuyendo la descarga del otro (Tabla 2).

Rama simpática	Rama parasimpática
•Neuronas preganglionares en segmentos torácicos y lumbares de la médula (T1-L3).	•Neuronas preganglionares en núcleos viscerales del tronco ( <i>pares III, VII, IX y X</i> ) y de la médula espinal (S2-S4)
•Ganglios cercanos al SNC ( <i>cadena paravertebral toracicolumbar</i> ) y órganos diana alejados de los ganglios ( <i>fibras postganglionares largas</i> ).	•Ganglios cerca de órganos a inervar ( <i>axones preganglionares largos</i> )
•Ach como neurotransmisor pre, y NA como postganglionar.	•Ach como neurotransmisor pre- y postganglionar.
•Sistema de urgencia que moviliza energía en situaciones de estrés que requieren una respuesta urgente de lucha-huída	•Especializada en la conservación de energía, es responsable de los procesos fisiológicos reparadores asociados al reposo.

Tabla 2. Resumen de las diferencias entre el SNS y el SNP. Tabla de los autores.

## Sistema nervioso simpático

El sistema nervioso simpático está involucrado principalmente en las actividades asociadas con el gasto de las reservas energéticas almacenadas en el cuerpo. Es el que predomina cuando una persona se encuentra en una situación de estrés, ya sea físico o psíquico. En ambos casos el individuo se encuentra amenazado y el cuerpo reacciona automáticamente preparándose para "luchar o huir". En estas condiciones, los músculos tendrán que trabajar más intensamente, necesitarán más oxígeno y consumirán más energía. Por tanto, los bronquios se abren para que el aire penetre más rápido y en mayor cantidad; el corazón late con más energía y rapidez; las arterias del corazón y de los músculos voluntarios se dilatan, con lo cual conducen más sangre hacia los músculos activos (por ello la piel se siente fría); el hígado secreta glucosa para el suministro rápido de energía; el peristaltismo se hace lento, pues el organismo no tiene energía ni tiempo para la digestión.

El SN simpático está basado en una vía de 2 neuronas. Los cuerpos celulares de las primeras se localizan en el asta lateral de la médula espinal. Los axones salen de la médula por las raíces ventrales y entran en el tronco simpático, el cual es una serie de ganglios y fibras a cada lado de la columna vertebral que se extiende desde el cuello hasta el sacro. También se conoce como cadena de ganglios paravertebrales o cadena simpática. Los diferentes ganglios espinales simpáticos están conectados con los ganglios vecinos situados por encima y por debajo de ellos formando la cadena simpática. En los ganglios simpáticos, establecen sinapsis con neuronas secundarias, que inervan a su vez las glándulas y otras estructuras. La primera neurona se llama **preganglionar** y su axón está mielinizado; la segunda neurona se llama **postganglionar** y su axón carece de mielina.

El neurotransmisor químico en la sinapsis entre los axones simpáticos preganglionares y los postganglionares es la acetilcolina (Ach) y sus receptores son nicotínicos. El neurotransmisor empleado entre las neuronas postganglionares y las estructuras que inervan es la adrenalina (A). Los receptores nicotínicos se encuentran en las sinapsis entre las neuronas preganglionares y postganglionares de ambos sistemas simpático y parasimpático, y también en las fibras musculares esqueléticas en la unión neuromuscular.

## Sistema nervioso parasimpático

También está basado en una vía bi-neuronal, formada de neurona preganglionar y postganglionar. No obstante, hay grandes diferencias fisiológicas, anatómicas y farmacológicas entre los 2 sistemas. Mientras que el simpático prevalece en situaciones de estrés, el parasimpático tiene mayor actividad cuando la persona está relajada y en reposo; el latido cardíaco es más lento, el peristaltismo y otras funciones digestivas se activan, y así sucesivamente. Al igual que el sistema simpático el neurotransmisor empleado en la sinapsis entre la neurona parasimpática preganglionar y postganglionar es la Ach y sus receptores son nicotínicos. El transmisor químico entre los axones parasimpáticos postganglionares y las estructuras que inervan es la Ach y sus receptores son muscarínicos.

Por lo que toca a la anatomía, los cuerpos de las neuronas preganglionares se encuentran en el tallo cerebral y en la sustancia gris de la médula en la región sacra, S2-S4. En el tallo cerebral, los cuerpos neuronales se aglomeran en varios núcleos específicos y sus axones se unen a los nervios craneales (III motor ocular común, VII facial, IX glossofaríngeo y X neumogástrico). Como componentes de éstos salen junto con ellos, atraviesan diferentes regiones y muy cerca de su destino entran en sus ganglios. Aquí las fibras preganglionares hacen sinapsis con cortas fibras postganglionares que inervan glándulas, corazón y estructuras dotadas de músculo liso. En muchos casos los ganglios están situados cerca, encima o dentro de las estructuras inervadas y las fibras postganglionares son microscópicas.

### Control del sistema nervioso autónomo

El SNA es activado principalmente por los centros localizados en la *médula espinal, tronco encefálico e hipotálamo*. Asimismo, porciones de la corteza cerebral y especialmente del sistema límbico pueden transmitir impulsos hacia los centros inferiores y ejercer influencia de esta forma sobre el control automático. A menudo el SNA opera también por medio de reflejos viscerales. O sea que penetran señales sensitivas en los centros de los ganglios autónomos, médula, tronco encefálico o hipotálamo, y éstos, por su parte, transmiten respuestas reflejas apropiadas de nuevo hacia los órganos viscerales para controlar la actividad.

### Reflejos autónomos

-Reflejos autonómicos cardiovasculares como los reflejos barorreceptores, basados en la presencia de receptores de estiramiento en las paredes de las arterias mayores. Cuando son estirados por la alta presión, se transmiten señales hacia el tronco encefálico, desde donde se inhiben los reflejos simpáticos hacia el corazón y vasos sanguíneos con lo que la presión arterial desciende.

-Reflejos autónomos gastrointestinales. El olor de comida apetitosa genera respuestas a través del parasimpático hacia las glándulas secretoras del estómago y de la boca, provocando la secreción de jugos digestivos.

-Otros reflejos: Relajación de esfínteres para la micción por estiramiento de la vejiga. Reflejos sexuales ante estímulos psíquicos produciendo la erección, principalmente una función parasimpática y la eyaculación, una función simpática. Otros reflejos incluyen la regulación de la función pancreática, sudoración...